



USK
UNIVERSITAS
SYIAH KUALA

UNIVERSITAS SYIAH KUALA

usk.ac.id

Jln. Teuku Nyak Arief Darussalam, Banda Aceh, Aceh, 23111

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT**

lppm.usk.ac.id

LEMBAGA PENJAMIN MUTU

lpm.usk.ac.id

Fakultas Ekonomi dan Bisnis

feb.usk.ac.id

**Fakultas Keguruan
dan Ilmu Pendidikan**

kip.usk.ac.id

Fakultas Kedokteran Hewan

fkh.usk.ac.id

Fakultas Hukum

law.usk.ac.id

Fakultas Teknik

ft.usk.ac.id

Fakultas Pertanian

fp.usk.ac.id

Fakultas Kedokteran

fk.usk.ac.id

**Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam**

fmipa.usk.ac.id

Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik

fisip.usk.ac.id

Fakultas Kelautan dan Perikanan

fkip.usk.ac.id

Fakultas Keperawatan

fkep.usk.ac.id

Kedokteran Gigi

fkg.usk.ac.id

**DIREKTORAT PENDIDIKAN
DAN PEMBELAJARAN**

DIREKTORAT SUMBER DAYA

**DIREKTORAT KEMAHASISWAAN
DAN ALUMNI**

**DIREKTORAT PERENCANAAN
DAN KEMITRAAN**

DIREKTORAT ADMINISTRASI AKADEMIK

DIREKTORAT KEUANGAN

**DIREKTORAT PRESTASI
DAN KEWIRAUSAHAAN**

DIREKTORAT BISNIS DAN DANA LESTAR



SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS SYIAH KUALA

Prof. Dr. Ir. Marwan, IPU.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Salam sejahtera bagi kita semua,

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga kita dapat bersama-sama memperingati Milad Universitas Syiah Kuala yang ke-63, serta selawat serta salam kepada Baginda Rasulullah SAW yang telah membawa jalan kebenaran bagi kita semua sehingga sampai saat ini kita dapat bersama-sama memperingati Milad Universitas Syiah Kuala yang ke-63. Momentum bersejarah ini tidak hanya menjadi pengingat atas perjalanan panjang institusi kita, tetapi juga menjadi landasan untuk menegaskan kembali komitmen kita dalam memberikan kontribusi terbaik bagi bangsa dan negara.

Sebagai bagian dari perayaan ini, dengan penuh rasa bangga dan syukur, Universitas Syiah Kuala meluncurkan buku kumpulan karya inovasi dosen Universitas Syiah Kuala. Buku ini adalah bukti nyata dedikasi para dosen kita dalam menghasilkan karya-karya inovatif yang relevan, bermanfaat, dan berdampak bagi kemajuan ilmu pengetahuan serta kesejahteraan masyarakat.

Karya-karya yang terangkum dalam buku ini tidak hanya mencerminkan semangat inovasi, tetapi juga memperlihatkan kreativitas dan keilmuan dapat menjadi solusi atas berbagai tantangan di era yang terus berubah. Buku ini hadir sebagai inspirasi bagi generasi mendatang untuk terus berkarya, berpikir kritis, dan membawa perubahan yang berarti.

Saya percaya bahwa inovasi adalah elemen kunci dalam menghadapi masa depan. Melalui karya-karya ini, Universitas Syiah Kuala tidak hanya menunjukkan eksistensinya sebagai institusi pendidikan tinggi yang unggul, tetapi juga sebagai pusat inovasi yang senantiasa berkontribusi bagi pembangunan bangsa, khususnya di Aceh dan Indonesia pada umumnya.

Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada para dosen yang telah melahirkan karya-karya luar biasa ini, kepada tim penyusun buku, serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung terbitnya buku ini. Semoga buku ini menjadi inspirasi dan motivasi bagi kita semua untuk terus berinovasi dan memberikan yang terbaik bagi masyarakat.

Akhir kata, saya mengajak kita semua untuk menjadikan Milad ke-63 Universitas Syiah Kuala sebagai momentum untuk melangkah lebih jauh, terus mengukir prestasi, dan membawa nama baik almamater tercinta ke kancah nasional dan internasional.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Darussalam, Banda Aceh, 12 Desember 2014

Rektor Universitas Syiah Kuala

Prof. Dr. Ir. Marwan, IPU.



SAMBUTAN KETUA LPPM UNIVERSITAS SYIAH KUALA

Prof. Dr. Mudatsir, M.Kes

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kami persembahkan buku "*Karya Inovasi Anak Bangsa*" yang lahir dari dedikasi dan kreativitas dosen Universitas Syiah Kuala. Buku ini tidak hanya menjadi wadah untuk mendokumentasikan inovasi-inovasi berharga, tetapi juga merupakan wujud nyata komitmen civitas akademika Universitas Syiah Kuala dalam memberikan kontribusi terbaik bagi kemajuan ilmu pengetahuan, teknologi, dan masyarakat.

Peluncuran buku ini bertepatan dengan momentum istimewa, yakni peringatan Milad Universitas Syiah Kuala yang ke-63. Selama lebih dari enam dekade, Universitas Syiah Kuala telah berperan aktif sebagai lembaga pendidikan tinggi yang terus mencetak generasi unggul dan menjadi pusat pengembangan inovasi di Aceh dan Indonesia. Buku ini menjadi salah satu bukti nyata perjalanan panjang tersebut, merepresentasikan semangat keilmuan, kreativitas, dan keinginan untuk terus berkontribusi bagi pembangunan bangsa.

Isi dari buku ini mencakup berbagai karya inovatif dari para dosen Universitas Syiah Kuala di berbagai bidang ilmu, yang diharapkan dapat memberikan inspirasi, baik bagi akademisi, praktisi, maupun masyarakat luas. Kami percaya, inovasi yang tertuang di dalam buku ini dapat menjadi katalisator untuk mendorong lahirnya ide-ide baru yang relevan dengan kebutuhan zaman.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis, editor, dan pihak yang terlibat dalam proses penyusunan buku ini. Semoga karya ini menjadi salah satu persembahan terbaik Universitas Syiah Kuala untuk negeri, dan semoga buku ini dapat menjadi sumber inspirasi yang bermanfaat bagi banyak pihak.

Akhir kata, kami mengucapkan selamat menikmati dan semoga buku ini dapat diterima dengan baik oleh para pembaca. Mari bersama-sama kita melangkah menuju masa depan yang lebih gemilang.

Darussalam, Banda Aceh, 12 Desember 2014

Hormat kami,

Prof. Dr. Mudatsir, M.Kes.



EDITOR



Adlim



Wais Alqarni



Tongku Nizwan Siregar



Sulastri



Nasrul Arahman



Budi Yanti

KONTRIBUTOR:

- Abdullah
- Abdur Munir
- Adinda Zahra
- Adlim
- Agus Arip Munawar
- Ahmad Farhan
- Akhyar
- Amalia Sutriana
- Andri Novandri
- Apridar
- Arman Sayuti
- Arsa Cindy Safitri
- Ayufi Ramadhani
- Azmeri
- Azwar
- Budi Yanti
- Cut Intan Novita
- Cut Meurah Rosnelly
- Cut Nadilla Maretina
- Cut Nursaniah
- Cut Zuriana
- Darmawi
- Delia Putri Sanur
- Farid Mulana
- Fawzi Linggo
- Haekal Azief Haridhi
- Hafidh Hasan
- Hafizuddin
- Hendra Zufry
- Husaini Husaini
- Husnurrisal
- Ibnu Khaldun
- Ichsan Setiawan
- Intan Malayana
- Irmayani
- Izarul Machdar
- Kahlil Muchtar
- Khairi
- Khairul Rahmah
- Khairul Syahmega
- Khalilullah
- Kris Handoko
- Kurnia Fitri Jamil
- Mahdi Syahbandir
- Mahmudi Mahmudi
- Mailizar
- Maimun Rizalihadi
- Maria Ulfah
- Maurisa Ajrina
- Mirna Rahmah Lubis
- Muchlis
- Muhammad Azharry
- Muhammad Iqbal Maulana
- Muhammad Irham
- Muhammad Nanda
- Muhammad Prayogie Aulia
- Muhammad Rizal
- Muhammad Yusuf Kardawi
- Mukhlis Hidayat
- Mustafa Kamal
- Mutia
- Mutia Farida
- Nasrul Arahman
- Naufal Alkhalis
- Noor Hana Hanif Abu Bakar
- Nur Fadli
- Nurrahmah
- Rahmah Johar
- Rinal Dia'ul Haikal
- Rita Khathir
- Rita Meutia
- Roudhia Rahma
- Saiful
- Sherina
- Sofyan
- Sofyatudidin Karina
- Sri Aprilia
- Sri Haryani
- Sri Wahyuni
- Sugiarto
- Syarifah Meurah Yuni
- Syarifah Rohaya
- Teuku Armansyah
- Teuku Fais Duta
- Teuku Husni T.R
- Teuku Maimun
- Tongku Nizwan Siregar
- Wahyu Rinaldi
- Wais Alqarni
- Yopi Ilmansyah
- Yudi Haditiar
- Yuwaldi Away
- Zafran Fawwaz Muhammad
- Zikri Maulina Gaznur
- Zuhra



DAFTAR ISI

SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS SYIAH KUALA

Prof. Dr. Ir. Marwan, IPU.

SAMBUTAN KETUA LPPM UNIVERSITAS SYIAH KUALA

Prof. Dr. Mudatsir, M.Kes

EDITOR

KONTRIBUTOR

KOMPOSIT POLIMER KOMBINASI SERAT KELAPA DAN FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI MATERIAL NON-RENEWABLE

Farid Mulana*, Muhammad Prayogie Aulia, Azwar, Sri Aprilia 11

MODEL CERDAS 3-DOF TETRAHEDRON-TRACKER UNTUK MENINGKATKAN KINERJA SOLAR PANEL

Yuwalidi Away*, Andri Novandri 20

AICOM: APLIKASI MONITORING EKOSISTEM DAN FRAGMEN KARANG BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Nur Fadli^{1,2*}, Haekal Azief Haridhi^{1,2}, Husaini Husaini³, Kahlil Muchtar⁴, Yudi Haditiar^{1,2}, Muhammad Nanda^{1,2}, Maria Ulfah^{1,2}, Naufal Alkhalis³, Cut Nadilla Maretna³, Intan Malayana², Arsa Cindy Safitri², Kris Handoko⁵ 29

INOVASI MEMBRAN SERAT BERONGGA UNTUK PRODUKSI AIR MINUM BEBAS BAKTERI

Nasrul Arahman*, Sri Aprilia, Rinal Dia'ul Haikal, Muhammad Azharry 38

KANTONG AIR MINUM BERBAHAN DASAR KITOSAN DAN PATI JANENG UNTUK PENYARINGAN AIR MINUM DALAM KEADAAN DARURAT

Saiful*, Maurisa Ajrina, Khairi, Mutia Farida 48

BETON RINGAN UNTUK KONSTRUKSI PINTU AIR TAMBAK

Izarul Machdar¹, Abdullah², Wahyu Rinaldi¹, Maimun Rizalihadi², Sofyan³ 58

MANUFACTURING COMPOSITE BOARDS FROM COCONUT COIR WASTE WITH COPAL GLUE ADHESIVE AND METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE CATALYST

Mirna Rahmah Lubis¹, Sri Aprilia¹, Teuku Maimun², Muchlis³ 67

RANGKA SEPEDA MODIFIKASI DARI PELAT LOGAM DENGAN METODE METAL CUTTING

Akhyar¹, Muhammad Rizal¹, Mustafa Kamal¹, Ahmad Farhan² 75

EKSTRAKSI HIPOFISA SAPI SEBAGAI LIMBAH RUMAH POTONG HEWAN UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TERNAK

Tongku Nizwan Siregar^{1*}, Cut Intan Novita², Hafizuddin¹, Husnurrisal¹, Arman Sayuti³, Teuku Armansyah⁴, Amalia Sutriana⁴, Sri Wahyuni⁵ 93

INOVASI PREDIKSI DEMAND PERJALANAN TRANSPORTASI DENGAN PENGEMBANGAN MODEL DISAGREGAT HIBRIDA BERBASIS PERILAKU PERJALANAN

Sugiarto Sugiarto^{1*}, Roudhia Rahma² 100

BIOACTIVE PHYTOCONSTITUENTS AND HEMOSTATIC AND ANGIOGENETIC ACTIVITIES OF <i>CHROMOLAENA ODORATA</i> L. LEAF EXTRACT GEL ON ANIMAL EPISTAXIS MODEL	
Teuku Husni T. R*, Darmawi Darmawi, Azwar Azwar, Kurnia Fitri Jamil	109
KOMPOSIT SULFUR NANOPARTIKEL-SERBUK GERGAJI SEBAGAI PENSTABIL UAP MERKURI	
Adlim, M* ^{1,2} , Ibnu Khaldun ¹ , Sofyatudidin Karina ³ , Noor Hana Hanif Abu Bakar ⁴	125
“LITUNA” TEKNOLOGI PENGALENGAN PANGAN MENJADI PRODUK KOMERSIAL	
Sri Haryani ^{1*} , Hafidh Hasan ² , Syarifah Rohaya ¹	136
TEKNOLOGI PENERING TEROWONGAN <i>HOHENHEIM</i> ACEH UNTUK BERBAGAI PRODUK HASIL PERTANIAN	
Rita Khathir*, Khairul Syahmega	146
DETEKTOR SUARA <i>WHEEZING</i> UNTUK MENGETAHUI KELAINAN OBSTRUksi SALURAN NAPAS	
¹ Budi Yanti*, Khalilullah, Fawzi Linggo, Delia Putri Sanur, Adinda Zahra Ayufi Ramadhani, Muhammad Yusuf Kardawi	157
ANALISIS DAYA SAING IKAN TUNA INDONESIA DI PASAR ASEAN: PENDEKATAN <i>REVEALED COMPARATIVE ADVNATAGE</i>	
Rita Meutia*, Apridar	164
ARUS MENYUSUR PANTAI (<i>LONGSHORE CURRENT</i>) UNTUK IDENTIFIKASI ARUS BALIK (<i>RIP CURRENT</i>) DI LAMPUUK LHOKNGA ACEH BESAR	
¹ Ichsan Setiawan*, Yopi Ilhamsyah, Muhammad Irham, and Syarifah Meurah Yuni	173
<i>ENDOSCOPIC MUCOSAL RECOGNITION</i> BERBASIS KECERDASAN BUATAN DAN <i>INTERNET OF THINGS</i> SEBAGAI DETEKTOR DUGAAN PENYAKIT PARU OBSTRUKTIF KRONIS PADA PEROKOK	
¹ Budi Yanti ^{1*} , Zarfah Fawwaz Muhammad, Teuku Fais Duta, Muhammad Iqbal Maulana, Irmayani, Sherina	183
GAMIFIKASI SEBAGAI ALAT PELESTARIAN BUDAYA: STUDI INOVASI PADA PEMBELAJARAN TARI RANUP LAMPUAN	
Cut Zuriana ¹ , Nurrahmah ²	190
KONSEP TABUNG TANAM DENGAN KOMBINASI TANAMAN APU-APU SEBAGAI SOLUSI PENANGANAN LIMBAH RUMAH POTONG HEWAN	
Zikri Maulina Gaznur ^{1,2} , Mahmudi Mahmudi ¹ , Sri Wahyuni ¹	199
ESSENTIAL TRANSFORMATION OF MORTISE-AND-TENON JOINTS FOR EARTHQUAKE-RESISTANT CONTEMPORARY HOUSING (A CASE STUDY IN THE ACEH PROVINCE, INDONESIA)	
Cut Nursaniah ¹ , Izzatul Machdar ² , Azmeri ³ , Abdur Munir ¹	209
PENGUNAAN TEKNOLOGI DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS <i>REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION</i>	
Rahmah Johar*, Mailizar, Mukhlis Hidayat	221
DEMOKRASI LOKAL DAN PEMERINTAHAN BERSYARIAT: STUDI KASUS QANUN LEMBAGA KEUANGAN SYARIAH DI ACEH	
Wais Alqarni ¹ , Mahdi Syahbandir ²	237
TEKNOLOGI <i>NEAR INFRARED SPECTROSCOPY</i> : INOVASI DIAGNOSIS KANKER PADA NODUL TIROID	
Hendra Zufry ¹ , Agus Arip Munawar ²	247
FILM POLIIMID NANOKOMPOSIT BERBASIS SILIKA DARI ABU SEKAM PADI SEBAGAI MATERIAL ELEKTRONIK	
Sri Aprilia, Zuhra, Cut Meurah Rosnelly, dan Khairul Rahmah	256

Membangun Infrastruktur Berkelanjutan, Untuk Indonesia Maju

Implementasikan BIM untuk Masa Depan Konstruksi Berkelanjutan

Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS)
Ruas Pekanbaru - Dumai (132km)

PENERIMAAN MAHASISWA BARU 2024

UNIVERSITAS ABULYATAMA

DIBUKA !

RUMOH ILMU & BUDAYA

Contact Person

Dr. Lensoni, M. Kes : 0852 962 67390
Leny, S.Pd : 0812 6944 170
Nasrullah, S.Kom : 0853 4042 2278
Sri Veria, S.Pd : 0812 6941 6760
Drs. Saifuddin, M.Pd : 0812 690 88881

Scan di sini
Untuk Mendaftar



<http://bit.ly/LINKPMBUNAYA2024>

@universitas_abulyatama www.unaya.ac.id



Rumah Sakit
Pertamedika Umni Rosnati



Kenapa Harus RSPUR?

- Dokter & Tenaga Kesehatan Yang Profesional
- Ruang Perawatan Yang Nyaman
- Alat Kesehatan & Penunjang Yang Canggih

• Layanan Poliklinik Executive

- Rawat Jalan
- Rawat Inap

More Information?



SCAN ME



LAYANAN IGD

081388835092



GRATIS LAYANAN
AMBULANCE 24 JAM

www.rspur.co.id

rspertamedikaummirosnati





Saatnya nabung haji bareng-bareng

#SiapkanSekarang

BSI Tabungan Haji Indonesia dan daftar porsi haji melalui BSI Mobile

Info Produk



BSI Tabungan Haji Indonesia

Solusi perencanaan keuangan untuk membantu pelaksanaan ibadah haji & umrah.

01 Benefit dan Keunggulan

- Terdapat akad Wadiah dan Mudharabah.
- Terdapat dua pilihan mata uang: IDR dan USD.
- Setoran awal minimum Rp100.000,00.
- Buka Tabungan Haji dan daftar porsi haji melalui BSI Mobile.
- Memperoleh fasilitas Kartu Debit Mabruur saat nasabah telah mendapatkan porsi haji/umrah.
- Gratis biaya administrasi bulanan.
- Fasilitas notifikasi saat saldo cukup untuk didaftarkan porsi haji.
- Terkoneksi *online* dengan SISKOHAT Kementerian Agama.
- Bebas biaya *standing instruction* agar disiplin menabung setiap bulannya.

02 Persyaratan Pendaftaran

- KTP/SIM dan NPWP.

Untuk info lebih lengkap, kunjungi www.bankbsi.co.id atau hubungi Bank Syariah Indonesia Call 14040.

www.bankbsi.co.id
Bank Syariah Indonesia Call 14040

PT Bank Syariah Indonesia Tbk Beribadah Dan Diawasi Oleh Otoritas Jasa Keuangan dan Bank Indonesia Serta Merupakan Peserta Penjaminan LPS

KOMPOSIT POLIMER KOMBINASI SERAT KELAPA DAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI MATERIAL *NON-RENEWABLE*

Farid Mulana*, Muhammad Prayogie Aulia, Azwar, Sri Aprilia

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia.
Penulis korespondensi: farid.mulana@usk.ac.id

RINGKASAN

Buku ini menguraikan pengembangan dan pengaplikasian material komposit dengan memanfaatkan limbah-limbah alam yang selama ini terbatas dalam pengelolaannya. Pembuatan material komposit berbasis ramah lingkungan ini sangat penting untuk diprakarsai mengingat semakin masifnya penggunaan material berbasis *fossil fuel* dan penebangan hutan untuk dimanfaatkan kayunya. Material-material yang berbasis *fossil fuel* pada dasarnya merupakan bahan yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, ketersediaannya menjadi hal yang sangat perlu untuk diperhatikan guna menjaga kebutuhan manusia akan material-material tersebut, seperti untuk keperluan bangunan maupun rumah tangga. Pemanfaatan limbah alam seperti serat kelapa dan *fly ash* dapat menjadi salah satu solusi dalam mengatasi ketergantungan terhadap material *non-renewable* karena ketersediaannya di alam melimpah dan dapat diperbaharui. Namun, penggabungan serat kelapa dan *fly ash* sebagai bahan dasar pembuatan komposit memiliki tantangan dalam prosesnya. Perbedaan sifat organik dan anorganik membuat kedua material sulit menyatu sempurna satu sama lain tanpa adanya suatu modifikasi yang dilakukan terlebih dahulu. Oleh karena itu, dalam buku ini diuraikan proses modifikasi pembuatan material komposit dengan memanfaatkan *silane coupling agent* sebagai media integrasi serat kelapa dan *fly ash* yang pada dasarnya berbeda sifat. Hasil dari modifikasi ini menunjukkan bahwa kehadiran senyawa *silane* sebagai *coupling agent* mampu meningkatkan karakteristik dari komposit serat kelapa dan *fly ash*. Penurunan gugus-gugus hidroksil pada serat kelapa membuat material komposit lebih tahan terhadap penyerapan air dan sangat baik apabila diaplikasikan pada kondisi-kondisi yang memerlukan material tahan air dibandingkan papan yang terbuat dari kayu. Material komposit dari serat kelapa dan *fly ash* ini juga menawarkan material yang lebih ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah alam dan harga produksi yang lebih murah dibandingkan bahan-bahan sintesis dan menekan proses pengundulan hutan dari penebangan pohon yang tidak terkendali.

PENDAHULUAN

Kerusakan sumber daya alam, seperti deforestasi, semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Deforestasi yang disebabkan oleh aktivitas berbahaya ini mengakibatkan bencana alam, seperti banjir, tanah longsor, dan panas berlebih. Eksploitasi berlebihan terhadap pohon dipicu oleh tingginya permintaan akan produk kayu, seperti furnitur dan barang-barang lainnya. Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti berusaha menciptakan pengganti kayu yang dapat mengurangi penggunaan pohon secara berlebihan (Singh et al., 2020). Pertumbuhan teknologi yang pesat menyebabkan peningkatan eksploitasi sumber daya alam, termasuk pohon yang merupakan sumber daya berharga. Salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah eksploitasi sumber daya alam adalah penggunaan limbah alam sebagai bahan baku material komposit karena pendekatan ini memberikan banyak manfaat, terutama dalam menjaga keseimbangan alam (Shah et al., 2019).

Material komposit merupakan suatu material yang dibuatkan dengan memanfaatkan lebih dari satu bahan. Pada material-material yang sering kita gunakan dan jumpai, pada umumnya terdiri dari satu jenis bahan seperti *polyethylene*, *polypropylene*, dan sebagainya. Tujuan dari pembuatan material komposit ini berarti untuk membuat sebuah material dengan memiliki lebih dari suatu ciri khas sifat dari material-material penyusunnya. Sebagai contoh dalam proses pembuatan komposit dari serat kelapa dan *fly ash* ini, sifat-sifat khas dari serat kelapa dan *fly ash* akan terdapat dalam material komposit kombinasi antara keduanya. Dengan perkembangan material komposit ini, akan sangat memberikan keuntungan apabila ada suatu sifat spesifik yang ingin dihadirkan dalam produk akhir komposit.

Serat kelapa dan *fly ash* adalah contoh limbah alam yang dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai bahan baku pembuatan komposit. Kumar dan Raja (2021) menekankan keunggulan mekanis komposit serat alami seperti serat kelapa, sementara Reddy dan Meena (2017) menyoroti potensi *fly ash* dalam material komposit yang dapat mengisi kisi-kisi kosong dalam material sehingga lebih padat dan kuat. Serat kelapa sebagai serat alami semakin mendapatkan perhatian sebagai solusi potensial untuk masalah lingkungan. Selain itu, penggunaan serat kelapa memiliki beberapa keuntungan, yaitu biaya yang terjangkau, dapat diperbarui, *biodegradable*, dan ramah lingkungan. Di antara berbagai jenis serat, serat kelapa adalah salah satu serat alami terkuat, dengan kekuatan tarik sebesar 21,5 MPa (Adeniya et al., 2019). Ketika digunakan sebagai bahan baku atau pengisi produk komposit, serat kelapa menunjukkan massa jenis yang rendah dan konduktivitas termal yang tinggi. Oleh karena itu, serat kelapa dapat menghasilkan material komposit yang ringan dengan sifat termal yang baik pula. Selain dari sifat mekanisnya, serat kelapa memiliki banyak manfaat lainnya seperti sifat antibakteri, ketahanan terhadap jamur, toleransi suhu, dan penyerapan suara. Tetapi, kandungan alami serat kelapa seperti hemiselulosa dan lignin dapat melemahkan ikatan antara matriks dan serat. Oleh karena itu, komponen-komponen ini perlu dihilangkan sebelum produksi komposit dengan metode yang paling efektif yaitu alkali *treatment* (Mulana et al., 2024).

Alkali *treatment* sering digunakan sebagai *initial treatment* sebelum *secondary treatment*. Hal ini dikarenakan *secondary treatment* menjadi tidak efektif jika material yang ingin dimodifikasi memiliki kandungan hemiselulosa dan lignin yang tinggi. Alkali *treatment* dapat meningkatkan kekasaran permukaan serat serta meningkatkan kandungan selulosa yang merupakan struktur inti dari kekuatan serat kelapa. *Secondary treatment* biasanya memiliki tujuan khusus, seperti meningkatkan interaksi antara serat dan zat lain. Serat kelapa adalah bahan organik, sehingga interaksinya dengan bahan anorganik bisa menyulitkan. Perlakuan sekunder yang dipilih

untuk mengatasi masalah ini adalah perlakuan *silane* (Asim et al., 2016). *Silane* berperan sebagai jembatan antara zat organik dan anorganik. Serat kelapa yang diperlakukan dengan *silane* akan mengandung gugus Si-OC yang dapat membentuk ikatan dengan senyawa anorganik. Dengan membentuk ikatan dengan bahan anorganik, kekuatan komposit akan meningkat (E.firdaus & Dachyar, 2021).

Fly ash adalah produk sampingan dari sektor industri pembangkit listrik yang menggunakan batu bara. Sebagian besar *fly ash* yang tidak dikumpulkan tersebar sebagai limbah industri. Selama musim hujan, *fly ash* dapat mencemari air tanah dan mengganggu keseimbangan pH tanah. Namun, belum adanya upaya yang optimal dalam proses penanganan limbah *fly ash* ini. Feng dan Li (2021) mempelajari klasifikasi *fly ash* dari batu bara berdasarkan kepadatan massa dan mendapati potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan baku pembuatan komposit. Oleh karena itu, pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan pengisi komposit juga menawarkan solusi potensial untuk mengatasi masalah limbah *fly ash* yang belum teratasi dengan baik.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Serat Kelapa dan *Fly Ash* sebagai Bahan Dasar Material Komposit

Serat kelapa merupakan produk samping dari proses industri kelapa baik secara industri besar maupun industri rumahan. Serat kelapa biasanya hanya dibuang karena dianggap tidak memiliki nilai lebih dibandingkan air atau daging buah kelapa itu sendiri. Sering kali juga tempurung kelapa lebih dianggap berharga dibandingkan serat kelapa karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan arang. Tumpukan limbah serat kelapa apabila tidak dikelola dengan baik juga akan dapat menimbulkan dampak negatif seperti pembusukan sehingga mengeluarkan bau yang tidak sedap, merusak keindahan lingkungan, penyumbatan saluran air, dan penurunan kualitas tanah karena dapat menghambat pertukaran oksigen dalam tanah.

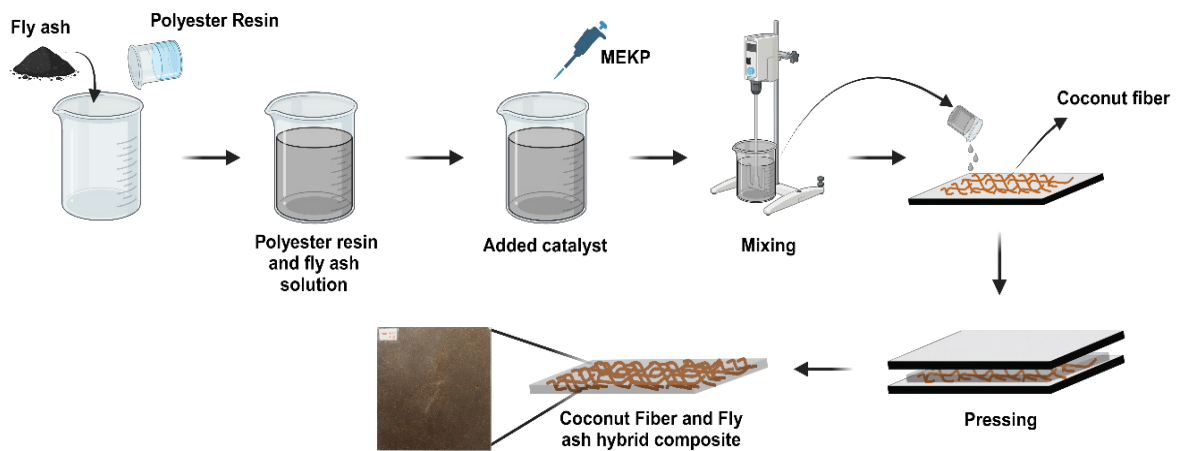
2.2 Alkali dan *Silane Treatment* sebagai Teknik Modifikasi Serat

Proses penerapan alkali dan *silane treatment* dimaksudkan untuk meningkatkan interaksi permukaan antara serat kelapa dan *fly ash*. Alkali *treatment* berfokus pada penghilangan lapisan lignin pada dinding serat sehingga menjadi lebih mudah untuk proses *silane treatment*. Sementara itu, *silane treatment* ditujukan untuk menjadi jembatan penghubung antara material organik dan anorganik, dalam hal ini serat kelapa dan *fly ash*. *Silane coupling agent* memiliki dua cabang yang masing-masing bersifat hidrofilik dan hidrofobik. Cabang hidrofilik dalam mengikat dengan permukaan serat kelapa sedangkan cabang hidrofobik dapat berikatan dengan material anorganik. Dengan konsep ini, maka interaksi antara serat kelapa dan *fly ash* semakin meningkatkan yang secara langsung juga berpengaruh terhadap karakteristik material komposit yang dihasilkan.

Alkali *treatment* dilakukan dengan merendam serat kelapa dalam larutan natrium hidroksida dengan konsentrasi lima persen selama enam jam. Setelah itu serat kelapa dicuci dengan menggunakan air suling selama beberapa kali untuk menghilangkan impuritas-impuritas lignin. Serat kelapa yang telah selesai dicuci kemudian direndam dalam larutan *trimethoxyvinylsilane* dengan konsentrasi lima persen selama satu jam. Kemudian serat kelapa dicuci kembali dengan air suling selama beberapa kali dan dikeringkan dengan menggunakan oven selama satu hari.

2.3 Material Komposit dari Serat Kelapa/*Fly Ash*

Pembuatan material komposit serat kelapa dan *fly ash* dilakukan dengan mencampurkan kedua bahan tersebut dengan resin poliester sebagai perekat. Campuran *fly ash* dalam resin poliester kemudian ditambahkan *methyl ethyl ketone peroxide* sebagai katalis untuk mempercepat proses pengeringan komposit. Proses pengadukan dilakukan selama lima menit untuk memastikan semua bahan tercampur dengan sempurna. Serat kelapa dibentuk di atas cetakan sebelum dituangkan campuran resin poliester dan *fly ash*. Pencetakan komposit dilakukan di atas plat dengan ukuran 20x20x0,5 cm dengan menggunakan teknik *molding press* bertekanan 275 bar. Komposit dibiarkan selama 24 jam untuk memastikan pengeringan sempurna sebelum dibuka dari cetakan menjadi produk akhir yang dapat diaplikasikan untuk berbagai bidang. Untuk lebih memahami proses pembuatan material komposit serat kelapa dan *fly ash*, ilustrasi proses secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 1.



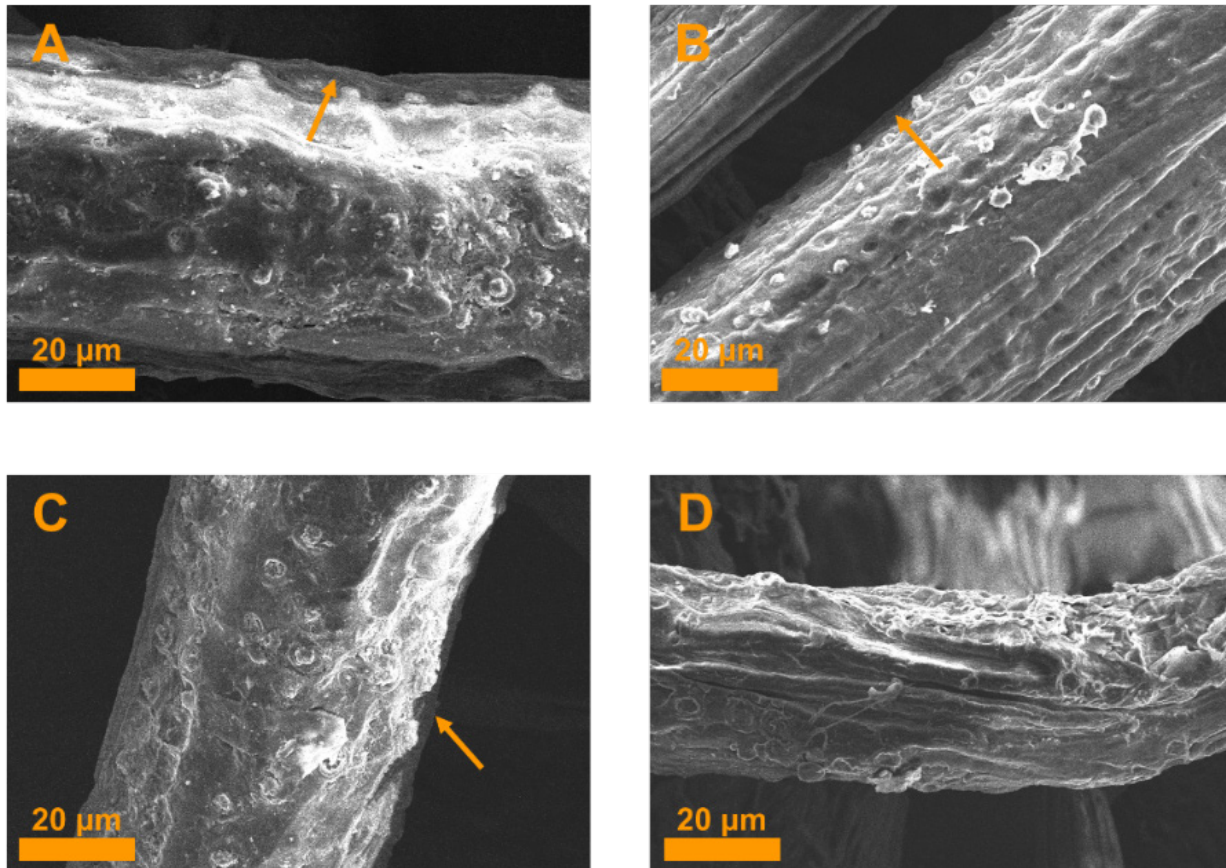
Gambar 1. Proses pembuatan material komposit penggabungan serat kelapa dan *fly ash*

III. HASIL /TEMUAN

3.1 Struktur Serat Kelapa Setelah Proses Alkali dan Silane Treatment

Tujuan dari proses alkali dan *silane treatment* terhadap serat kelapa seperti yang telah dijelaskan sebelumnya adalah untuk meningkatkan interaksi dengan *fly ash*. Dinding serat kelapa dilapisi oleh lapisan lignin yang membuat serat kelapa sulit berinteraksi dengan material lainnya. Gambar 2 menunjukkan struktur morfologi serat kelapa setelah beberapa proses *treatment* seperti alkali dan *silane*. Dari Gambar 2a terlihat bahwa pada dinding serat kelapa sebelum diberikan perlakuan apapun terdapat lapisan tipis yang melindungi struktur dalam serat dan dapat dikonfirmasi sebagai lapisan lignin. Setelah proses alkali *treatment* yang ditunjukkan Gambar 2b, lapisan dinding serat terlihat semakin menipis apabila dibandingkan dengan sebelum alkali *treatment*. Temuan ini juga menunjukkan bahwa alkali *treatment* terbukti berhasil mengeliminasi lignin yang terdapat pada serat kelapa. Pada Gambar 2c yang merupakan penampakan struktur serat kelapa dengan hanya menggunakan *silane treatment* tanpa alkali *treatment* menunjukkan masih terlihatnya lapisan tipis pada dinding serat. Namun menariknya, penggabungan *treatment* seperti yang ditunjukkan Gambar 2d menghilangkan

sama sekali lapisan yang terdapat pada dinding serat. Berdasarkan penemuan ini, dapat diberikan informasi bahwa integrasi alkali dan silane *treatment* terbukti dapat menghilangkan lapisan lignin dan membuat struktur selulosa serat kelapa lebih terekspos untuk berikatan dengan *fly ash*.



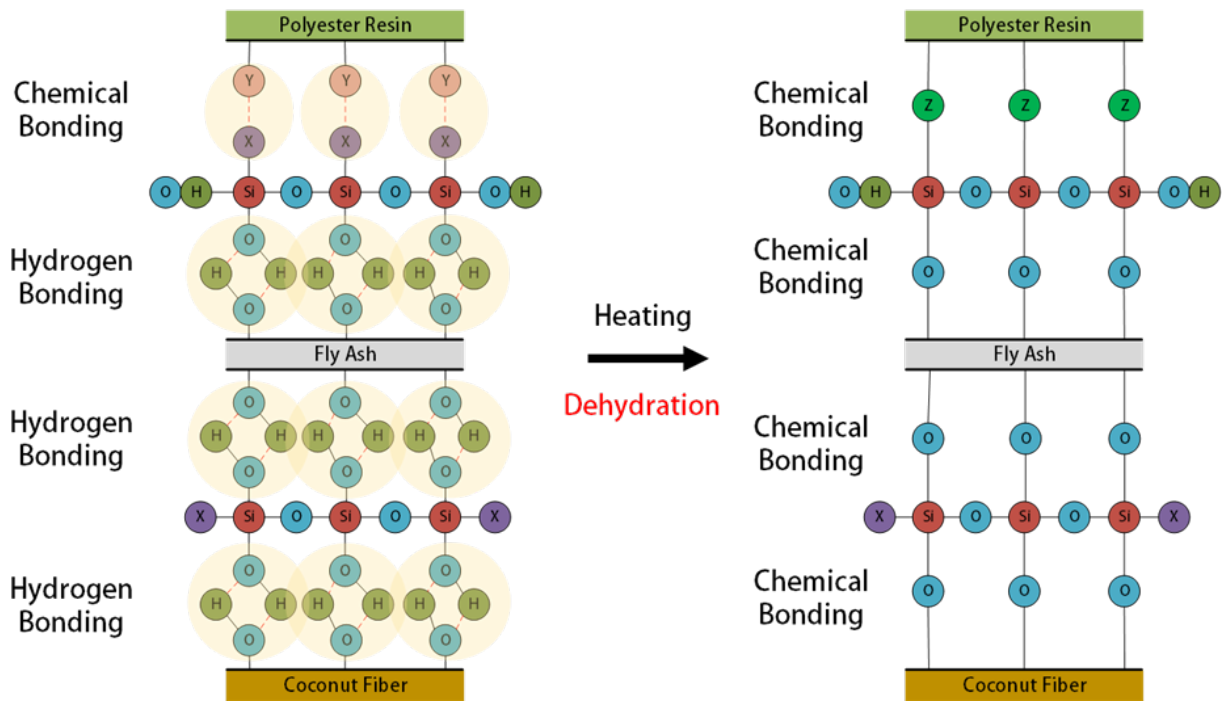
Gambar 2. Struktur morfologi serat kelapa (a) sebelum dimodifikasi, (b) hanya alkali *treatment*, (c) hanya silane *treatment*, dan (d) penggabungan alkali dan silane *treatment*

3.2 Mekanisme *Silane Coupling Agent* dalam Interaksi Serat Kelapa dan *Fly Ash*

Mekanisme bagaimana *silane coupling agent* dapat meningkatkan interaksi antara serat kelapa dan *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 menunjukkan *silane coupling agent* mengikat bahan-bahan yang terdapat dalam komposit dengan membentuk ikatan kimia setelah proses pemanasan sehingga terjadi dehidrasi gugus hidroksil. *Silane coupling agent* mengandung gugus silanol (Si-OH) yang dapat bereaksi dengan gugus hidroksil pada permukaan serat selulosa. Proses ini melibatkan reaksi kondensasi yang menghasilkan ikatan siloksan (Si-O-C) dan air sebagai produk samping akan menguap karena proses pemanasan. Ikatan antara *silane coupling agent* dengan *fly ash* dapat terjadi karena interaksi senyawa anorganik seperti silika dan alumina dengan gugus silanol sehingga membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si).

3.3 Sifat Fisika dan Kekuatan Mekanis Komposit Serat Kelapa dan Fly Ash

Berbagai penelitian yang berbasis produk, selalu bergantung dengan hasil pengujian sifat fisika maupun sifat mekanisnya, begitu pula dengan komposit serat kelapa dan *fly ash* ini. Pengujian sifat fisika komposit serat kelapa dan *fly ash* menunjukkan bahwa terdapat penurunan yang cukup baik terhadap daya serap air sebelum dan sesudah proses *silane treatment* yaitu dari 4,5% menjadi sekitar 2%. Kemudian sifat fisik lainnya yang perlu menjadi perhatian adalah *thickness swelling* atau perubahan terhadap dimensi komposit terhadap lamanya terpapar dalam lingkungan yang penuh akan air. Komposit serat kelapa dan *fly ash* menunjukkan perubahan ketebalan yang relatif sangat kecil dan tidak merubah struktur atau dimensi komposit secara drastis.



Gambar 3. Mekanisme interaksi silane *coupling agent* dengan serat kelapa dan *fly ash*

Disamping sifat fisik, sifat mekanis juga menjadi salah satu parameter yang sangat penting terlebih lagi terkait bagaimana nanti material komposit tersebut diaplikasikan. Kuat tarik dan kelenturan komposit menunjukkan peningkatan akibat peran *silane coupling agent*. Sesuai dengan hipotesa yang dikemukakan pada bagian konsep inovasi sebelumnya, bahwa *silane coupling agent* dapat membuat ikatan kovalen antara serat kelapa dan *fly ash* sehingga secara otomatis akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktur material. Dilain sisi, berbeda dengan kuat tarik dan kuat lentur, elongasi komposit semakin berkurang setelah proses *silane treatment*. Hal ini dapat dijelaskan terkait dengan peningkatan kuat tarik dari komposit serat kelapa dan *fly ash*. Kecenderungan apabila suatu material semakin meningkatkan kuat tariknya, akan berimplikasi terhadap penambahan panjang material tersebut.

3.4 Implikasi Material Komposit Serat Kelapa/*Fly Ash*

Penerapan atau pengaplikasian material komposit ini dalam kebutuhan manusia memiliki potensi yang sangat besar. Komposit ini difokuskan untuk menjadi salah satu solusi pengganti material sintesis ataupun material berbasis kayu yang sekarang ini menjadi salah permasalahan lingkungan yang sangat diperhatikan. Ketersediaan bahan baku serat kelapa dan *fly ash* yang berlimpah membuat keberlangsungan produksi dapat teratasi terlebih lagi bahan yang digunakan merupakan limbah alam sehingga harga produksi pun juga dapat ditekan serendah mungkin.

Agar lebih memahami potensi dari komposit serat kelapa dan *fly ash* ini dalam pengaplikasiannya, Tabel 1 menyajikan perbandingan kekuatan mekanis komposit serat kelapa dan *fly ash* dengan material helm pelindung komersial. Hal ini penting untuk dibandingkan agar tergambar dengan jelas bagaimana potensi dari material komposit ini.

Tabel 1. Perbandingan sifat mekanis komposit serat kelapa dan *fly ash* dengan helm pelindung komersial

Sifat Mekanik	Komposit Serat Kelapa dan <i>Fly Ash</i>	Helm Pelindung Komersial
Kuat tarik (MPa)	20,44 – 27,46	22,1 – 74,0
Ketahanan deformasi (GPa)	0,46 – 1,76	1,00 – 2,65
Elongasi (%)	1,56 – 3,93	3 – 5
Kekuatan lentur (MPa)	130,8 – 281,6	92,2 – 593

3.5 Keunggulan dan Tantangan Material Komposit Serat Kelapa/*Fly Ash*

Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan material-material sintesis ataupun material berbasis kayu untuk produk-produk perabotan. Material sintesis memiliki permasalahan terhadap ketersediaannya di masa yang akan datang dan juga proses produksi industrialisasi juga rentan terhadap pencemaran karbon. Disisi lain, material berbasis kayu memiliki kekurangan terhadap ketahanan air sehingga produk akan cepat rusak apabila terkena air secara berlebihan. Namun, material komposit dari serat kelapa dan *fly ash* berpenguat resin poliester dapat mengatasi semua permasalahan tersebut, yaitu dari bahan baku yang mudah didapatkan dan daya serap air yang sangat rendah. Dari sifat-sifat tersebut, komposit serat kelapa dan *fly ash* akan menghasilkan material yang tahan terhadap lingkungan ekstrim seperti terendam air ataupun panas berlebih. Ketahanan terhadap panas ini dapat dikonfirmasi dari uji sifat termal *thermogravimetric* yang menunjukkan suhu dekomposisi yang lebih baik dari komposit serat kelapa dan *fly ash* dibandingkan material berbasis kayu.

3.6 Potensi Pengembangan dan Aplikasi di Masa Depan

Berdasarkan keberhasilan proses integrasi bahan organik dan anorganik yang telah dipaparkan pada sub bagian hasil dan temuan, dapat dipahami bahwa proses ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Dalam proses ini, integrasi bahan yang digunakan hanya serat kelapa dan *fly ash*, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan integrasi dengan bahan-bahan organik dan anorganik lainnya untuk memperoleh sifat dasar spesifik yang diinginkan. Pada tahap dasar ini pengembangan aplikasi yang lebih konkrit belum dilakukan secara maksimal.



Gambar 4. Prototipe helm pelindung industri dari komposit serat kelapa dan *fly ash*

Dalam riset sederhana, prototipe helm pelindung industri berhasil diproduksi dengan menggunakan teknik sederhana berdasarkan campuran serat kelapa dan *fly ash*, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Perkembangan yang ditunjukkan ini sangatlah baik terlebih lagi sebagai pembuktian bahwa komposit ini memiliki potensi untuk diterapkan, tidak hanya sekedar data penelitian semata.

IV. KESIMPULAN

Penelitian yang dipaparkan dalam buku ini menguji keberhasilan proses penguatan interaksi material organik dan anorganik dengan memanfaatkan *silane coupling agent*. Penelitian dan upaya pengembangan material-material terbaru harus terus dilakukan sebagai alternatif apabila sewaktu-waktu bumi sudah tidak mampu memproduksi bahan-bahan yang kita memiliki ketergantungan sekarang ini. Material komposit serat kelapa dan *fly ash* temuan dari riset ini memiliki kekuatan fisik yang baik dengan daya serap air yang lebih rendah dibandingkan material berbasis kayu dan perubahan ketebalan yang sangat kecil. Selain itu, sifat mekanis juga menunjukkan peningkatan akibat interaksi serat kelapa dan *fly ash* yang lebih baik setelah proses *silane treatment*. Perbandingan beberapa sifat juga menunjukkan potensi komposit ini untuk menggantikan material-material konvensional dalam memenuhi kebutuhan umat manusia di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeniyi, A. G., Onifade, D. V., Ighalo, J. O., & Adeoye, A. S. (2019). A review of coir fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 176, 1.
- Asim, M., Jawaid, M., Abdan, K., & Ishak, M. R. (2016). Effect of Alkali and Silane Treatments on Mechanical and Fibre-matrix Bond Strength of Kenaf and Pineapple Leaf Fibres. *Journal of Bionic Engineering*, 13(3), 426–435.
- E.firdaus, F., & Dachyar, M. (2021). Polyvinyl chloride into epoxy matrix in the production of bamboo composite. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 233–240.

- Feng, S., & Li, Y. (2021). Study on coal fly ash classified by bulk density. *Journal of Physics: Conference Series*, 1732(1), 1.
- Kumar, S. S., & Raja, V. M. (2021). Processing and determination of mechanical properties of *Prosopis juliflora* bark, banana and coconut fiber reinforced hybrid bio composites for an engineering field. *Composites Science and Technology*, 208, 1.
- Mulana, F., Aulia, M. P., Azwar, & Aprilia, S. (2024). Coconut fiber and fly ash polymer hybrid composite treated silane coupling agent: Study on morphology, physical, mechanical, and thermal properties. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50(July), 10–19.
- Reddy, A. N., & Meena, T. (2017). An experimental investigation on mechanical behaviour of eco-friendly concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3), 1.
- Shah, A. H., Dayo, Q., Wagan, A., Sajid, A., & Shaikh, A. (2019). A Short Review: Manufacturing problems and Solutions of Natural Fiber Reinforced Composites. *Journal of Applied and Emerging Sciences*, 9(2), 68–77.
- Singh, Y., Singh, J., Sharma, S., Lam, T.-D., & Nguyen, D.-N. (2020). Fabrication and characterization of coir/ carbon-fiber reinforced epoxy based hybrid composite for helmet shells and sports-good applications: influence of fiber surface modifications on the mechanical, thermal and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 15593.

MODEL CERDAS 3-DOF TETRAHEDRON-TRACKER UNTUK MENINGKATKAN KINERJA SOLAR PANEL

Yuwaldi Away¹, Andri Novandri

¹Departemen Teknik Elektro dan Komputer Universitas Syiah Kuala,
Banda Aceh, Indonesia
Penulis korespondensi: yuwaldi@usk.ac.id

RINGKASAN

Penggunaan panel surya pada saat ini masih belum optimal dalam menyerap energi matahari. Hal ini disebabkan oleh kurangnya optimalitas perolehan cahaya matahari oleh panel surya pada platform bergerak. Salah satu cara untuk memastikan panel surya selalu berada dalam posisi tegak lurus terhadap sinar matahari adalah dengan menggunakan penjejak matahari, atau yang dikenal sebagai sun tracker. Penggunaan sun tracker pada panel surya telah menjadi fokus penelitian dan pengembangan guna mencari model sun tracker yang memiliki akurasi, presisi, dan kecepatan yang paling efisien. Sampai saat ini, sistem sun tracker yang ada terdiri dari sun tracker single-axis dan dual-axis. Kelemahan dari kedua jenis sun tracker ini adalah ketidakmampuannya untuk ditempatkan pada wahana bergerak atau platform mobile. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem sun tracker yang dapat diintegrasikan dengan mobile platform, yang disebut sebagai mobile tetrahedron-based sun tracker. Mobile tetrahedron ini harus mampu merespons gangguan dari atas, seperti pergerakan awan, dan juga gangguan dari bawah, seperti gerakan dari mobile platform. Mobile tetrahedron-based sun tracker yang diusulkan menggunakan kecerdasan buatan, khususnya algoritma ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Hal ini dikarenakan mobile platform memiliki gerakan dan perpindahan yang cepat dan berkelanjutan dari berbagai arah, yang membuat sulit untuk menjaga panel surya selalu tegak lurus terhadap sinar matahari tanpa bantuan kontrol yang cerdas. Mobile tetrahedron-based sun tracker ini menggunakan model 3-DOF parallel pada aktuatornya. Kontribusi utama dari riset ini adalah pengembangan mobile tetrahedron-based sun tracker yang dapat diintegrasikan dengan berbagai jenis mobile platform, seperti mobil, kapal laut, satelit, dan lainnya, bahkan ketika platform tersebut sedang bergerak atau berpindah. Dengan adanya sistem ini, panel surya dapat selalu mengikuti pergerakan matahari secara optimal, sehingga menghasilkan energi listrik yang maksimal, yang dapat disimpan dalam baterai. Hal ini memiliki manfaat penting dalam situasi darurat, terutama untuk mendukung komunikasi pada kendaraan, satelit, atau kapal laut. Berdasarkan hasil penelitian mengungkapkan bahwa sun tracker yang menggunakan metode ANFIS dapat meningkatkan perolehan energi listrik sebesar 7,166% dari fix tracker.

I. PENDAHULUAN

Pemahaman terhadap permasalahan energi listrik telah menjadi topik menarik dalam penelitian selama beberapa waktu. Banyak upaya telah dilakukan oleh para peneliti dalam mencari pilihan lain untuk mendapatkan sumber energi listrik selain dari bahan bakar minyak dan batubara. Salah satu pendekatan yang populer diterapkan adalah mengubah sumber energi listrik dari yang bersifat non-renewable menjadi renewable energy. Salah satu jenis sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi matahari. Keputusan untuk memilih energi matahari sebagai alternatif ini didasarkan pada cakupan sinar matahari yang luas, ketersediaannya yang melimpah, biaya penggunaannya yang rendah, dan dampak positifnya terhadap lingkungan (Güney, 2019; Awasthi et al., 2020). Energi cahaya matahari diubah menjadi energi listrik melalui penggunaan panel surya. Untuk mencapai efisiensi optimal, panel surya harus selalu berada dalam posisi tegak lurus (90°) terhadap cahaya matahari sepanjang waktu. Namun, pada umumnya, penggunaan panel surya yang dipasang untuk menyerap sinar matahari masih belum efektif dalam mengikuti pergerakan matahari, sehingga perolehan cahaya matahari menjadi kurang optimal dan mengakibatkan daya listrik yang dihasilkan tidak mencapai maksimal. Salah satu solusi untuk memastikan panel surya tetap tegak lurus terhadap cahaya matahari adalah dengan menggunakan sistem penjejak matahari, yang juga dikenal sebagai sun tracker.

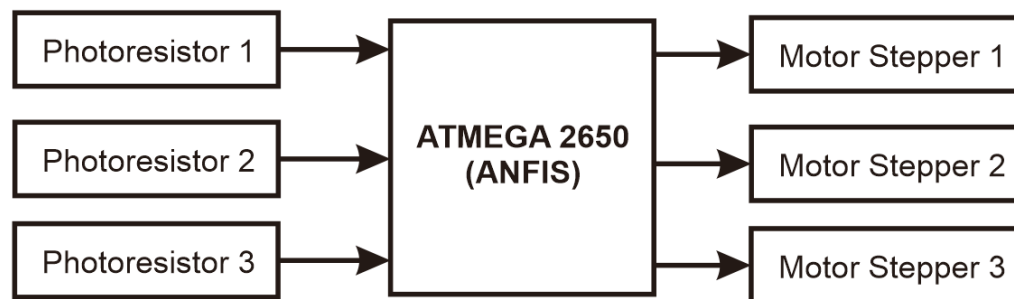
Sun tracker terus mengalami perkembangan dan pembaruan untuk mencari solusi sun tracker yang optimal dalam melacak pergerakan matahari. Dalam sebuah penelitian (Away and Ikhsan, 2017), diterapkan sun tracker dengan dual-axis berbentuk tetrahedron yang menggunakan tiga sensor LDR (Light Dependant Resistor). Namun, kelemahan dari sun tracker dual-axis ini adalah kemampuannya terbatas dalam bergerak hanya ke arah kanan atau kiri serta ke depan atau belakang, dan hanya dapat ditempatkan pada lokasi yang bersifat statis. Hasil penelitian sun tracker dual-axis berbentuk tetrahedron ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik, dengan rata-rata kesalahan sebesar $0,65^\circ$ pada sumbu x dan $0,54^\circ$ pada sumbu y, serta kecepatan mencapai $0,16$ rad/s (Azmi, Away and Sara, 2016). Dalam sun tracker ini, algoritma kontrol yang digunakan mencakup PID (Away and Ikhsan, 2017; Novandri, Away and Melinda, 2022) dan fuzzy logic (Away et al., 2017).

Penelitian terus berkembang dalam upaya mencari model sun tracker yang menggabungkan kecepatan dan akurasi. Sun tracker single axis atau dual-axis masih belum dapat diintegrasikan pada platform bergerak seperti mobile platform. Kendala ini disebabkan oleh pergerakan yang sangat dinamis dari mobile platform, yang terjadi dari berbagai arah dan dengan kecepatan tinggi, sehingga menyulitkan pemeliharaan posisi panel surya secara tepat lurus terhadap matahari. Beberapa penelitian telah menginvestigasi sun tracker tiga sumbu, seperti yang tercatat dalam penelitian (Kesava and Lim, 2018). Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan memasang panel surya pada mobil listrik, menghasilkan tegangan rata-rata sebesar $0,337$ mV dan arus rata-rata sebesar $23,442$ mA. Selain itu, penelitian lainnya (Haider et al., 2021) juga mencapai tingkat efisiensi sebesar 25%, meskipun jenis platform saat pengumpulan data tidak dijelaskan secara rinci.

Dalam penelitian yang diusulkan ini, akan dirancang sun tracker dengan model 3-DOF yang akan diterapkan pada mobile platform dengan geometri berbentuk tetrahedron. Perangkat yang akan dikembangkan akan disebut sebagai "mobile tetrahedron-based sun tracker" yang menggunakan algoritma ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Dengan demikian, diharapkan sun tracker yang dihasilkan akan memiliki tingkat presisi, akurasi, dan kecepatan yang lebih unggul dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, dan dapat ditempatkan pada wahana yang bergerak dan berpindah.

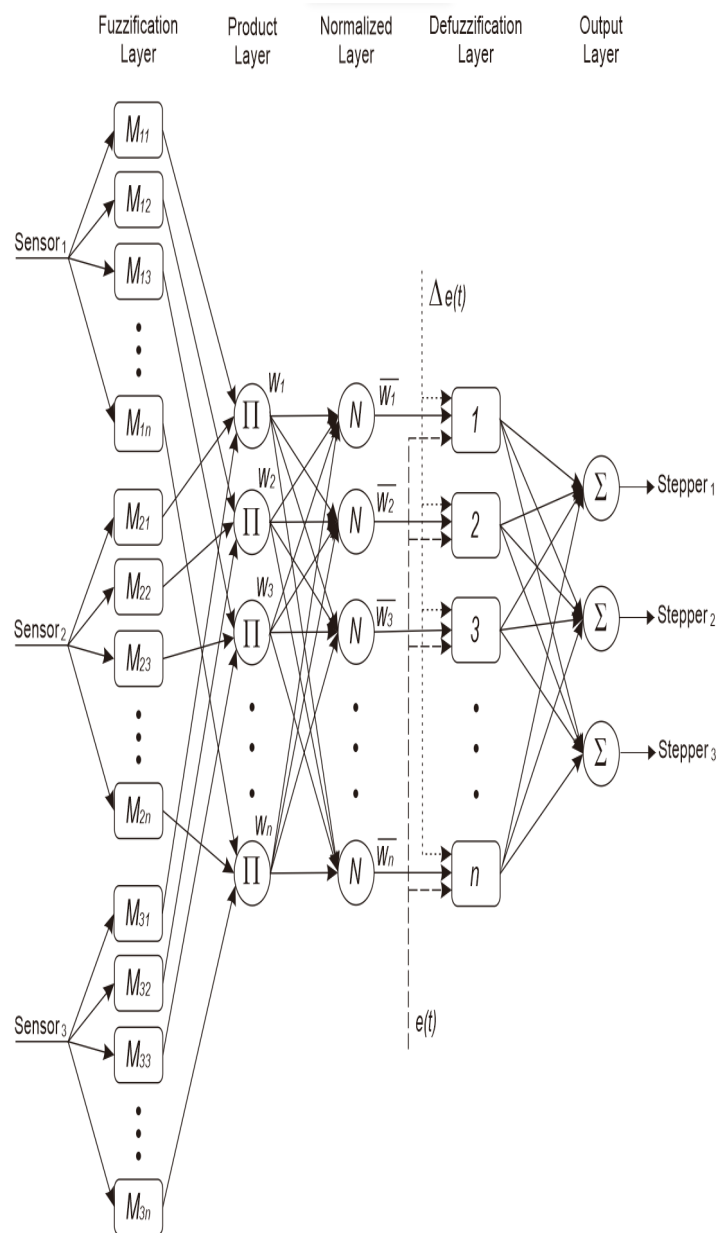
II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

Penelitian sun tracker ini dilaksanakan dengan menggunakan algoritma ANFIS sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Prinsip kerja dari sistem penjejakan cahaya matahari yaitu dengan memanfaatkan dual-axis sun tracker dalam membaca posisi matahari. Sensor tetrahedron digunakan sebagai sensor pembaca arah datangnya cahaya. Teknik ini menggunakan algoritma ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yang merupakan gabungan dari ANN (Artificial Neural Network) dan FLC (Fuzzy Logic Controller). Tiga buah sensor LDR digunakan untuk membaca nilai intensitas cahaya matahari, tujuannya untuk mengetahui posisi dari matahari. Data pembacaan kemudian diproses menggunakan algoritma ANFIS untuk menentukan sudut putaran motor stepper. Sebelum menjalankan sistem, perlu melakukan proses training menggunakan training data. Training data dapat diperoleh dari penelitian terdahulu atau disusun berdasarkan pengaruh sensor terhadap motor.



Gambar 1. Sistem sun tracker

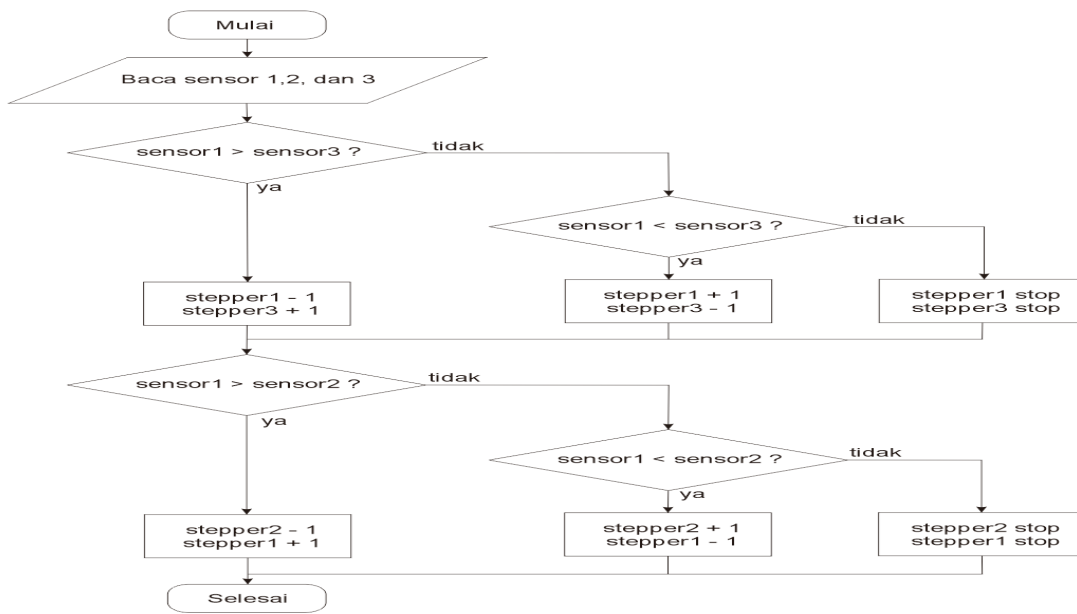
Fungsi ANFIS pada penelitian ini adalah untuk mengontrol mobile tetrahedron-based sun tracker agar dapat menjejak posisi matahari secara 3-DOF sehingga dapat ditempatkan pada platform yang bergerak. ANFIS digunakan untuk mengatur dan menyesuaikan parameter-parameter model fuzzy yang digunakan dalam sistem fuzzy. Dalam merancang algoritma ANFIS, yang pertama dilakukan adalah memilih model fuzzy yang sesuai dengan sistem sun tracker. Model fuzzy ini akan digunakan untuk menggambarkan hubungan antara input, seperti data sensor cahaya, dan output, yaitu sudut posisi sun tracker. Selanjutnya adalah menginisialisasi parameter-parameter model fuzzy, seperti fungsi keanggotaan, aturan-aturan fuzzy, dan bobot-bobot secara acak atau menggunakan metode tertentu. Pada tahap selanjutnya, data training yang berisi pasangan input-output digunakan untuk melatih ANFIS. Data ini dapat diperoleh dari pengukuran aktual pada sun tracker saat operasi. Kemudian dilakukan proses pembelajaran ANFIS dengan memberikan data training untuk mengoptimalkan parameter-parameter model fuzzy. Ini dilakukan melalui proses pembelajaran dengan mengoreksi parameter-parameter tersebut agar sesuai dengan data training. Setelah pelatihan, ANFIS divalidasi menggunakan data yang tidak digunakan dalam proses pelatihan. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa ANFIS dapat menghasilkan keluaran yang akurat untuk data yang belum pernah ada sebelumnya. Setelah ANFIS terlatih dan divalidasi, model fuzzy yang dihasilkan digunakan dalam sistem sun tracker untuk mengendalikan pergerakan mobile tetrahedron. ANFIS akan menerima data sensor cahaya sebagai input dan menghasilkan sudut posisi yang sesuai sebagai output untuk mengarahkan sun tracker ke posisi matahari yang optimal.



Gambar 2. Struktur ANFIS yang diusulkan

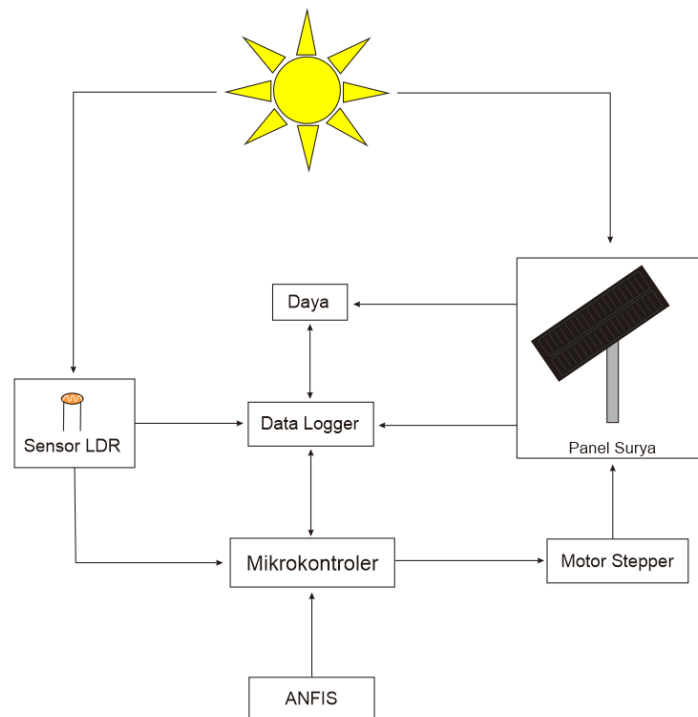
Selama operasi sun tracker, ANFIS terus memantau data sensor cahaya dan mengoreksi posisi sun tracker secara real-time agar selalu menghadap ke matahari. Bentuk struktur jaringan ANFIS yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 2.

ANFIS memanfaatkan kelebihan ANN dalam hal pembelajaran adaptif dan kelebihan FLC dalam pemodelan sistem berbasis logika fuzzy. Dengan demikian, ANFIS mampu menggabungkan informasi fuzzy dengan pembelajaran adaptif dari data untuk menghasilkan kontrol yang presisi pada sun tracker.



Gambar 3. Flowchart sun tracker

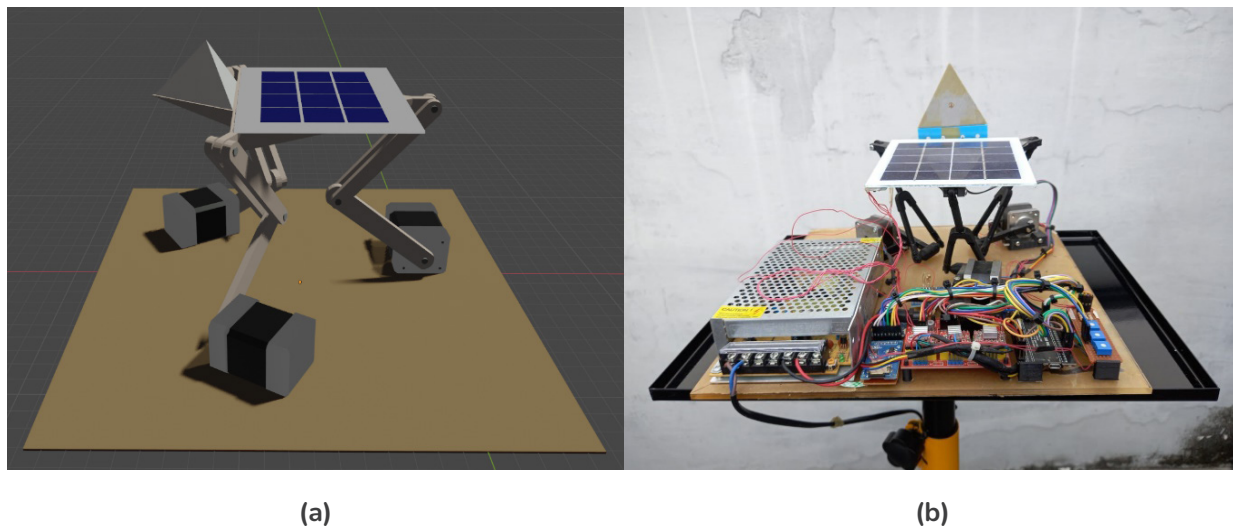
Sementara itu, prinsip kerja sun tracker sendiri adalah dengan melakukan perbandingan nilai pada masing-masing sensor. Diagram alur dari sistem penjejak tertampil pada Gambar 3. Pergerakan setiap motor stepper dipengaruhi oleh nilai perbandingan dari setiap sensor. Pergerakan motor stepper akan berhenti saat nilai perbandingan dari semua sensor sama. Nilai pada sensor 1 dan sensor 3 mempengaruhi pergerakan stepper 1 dan stepper 3. Sementara itu, nilai pada sensor 1 dan sensor 2 mempengaruhi pergerakan stepper 1 dan stepper 4.



Gambar 4. Diagram proses sun tracker

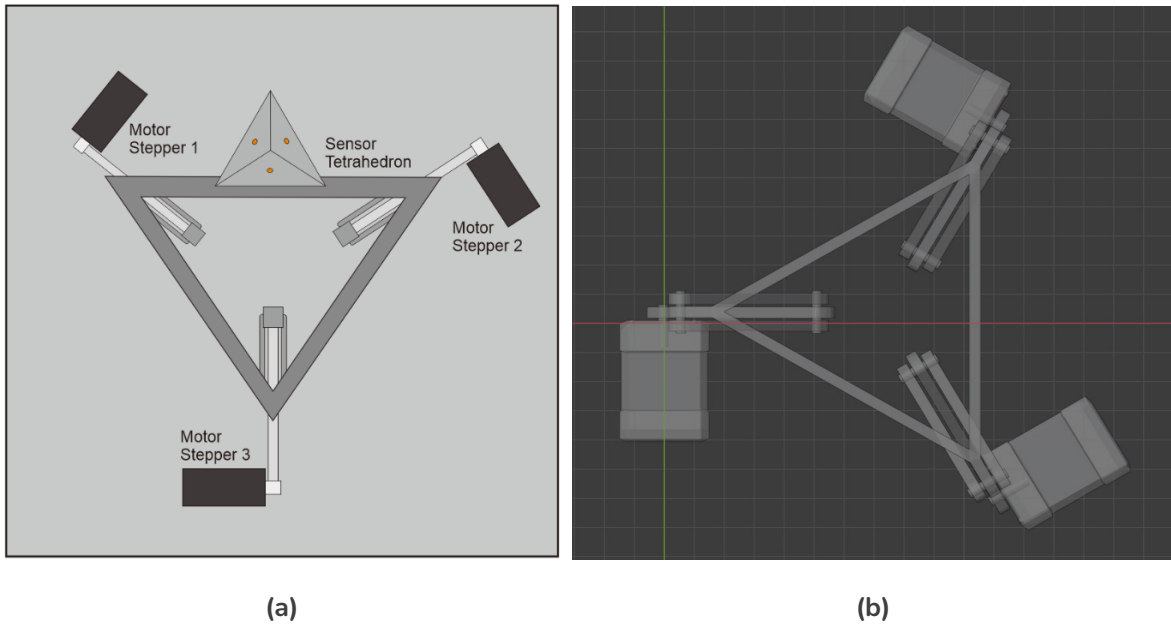
Diagram proses sun tracker, seperti yang terlihat pada Gambar 4, menggunakan metode kontrol yang beroperasi untuk mengendalikan pergerakan motor stepper. Sistem ini berfungsi dengan menerima cahaya matahari melalui panel surya dan sensor LDR. Sensor LDR berperan sebagai input dan sebagai sistem umpan balik, sementara panel surya berfungsi sebagai sumber daya listrik yang menghasilkan daya. Data yang diperoleh dari sensor LDR kemudian diproses oleh mikrokontroler. Proses pengolahan data melibatkan algoritma ANFIS. Output dari mikrokontroler berupa sudut yang diperlukan, dan sistem menginstruksikan motor stepper untuk mengubah posisinya sesuai dengan sudut tersebut. Motor stepper bertugas untuk menggerakkan panel surya agar selalu menghadap ke arah sumber cahaya matahari. Daya yang dihasilkan oleh panel surya dicatat dalam datalogger, dan data ini direkam setiap detik untuk memantau perubahan tegangan, arus, dan daya seiring waktu.

Bentuk dari prototipe sun tracker 3-DOF dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan susunan sensor dan motor stepper ditampilkan pada Gambar 6. Sun tracker ini menggunakan sensor tetrahedron yang terdiri dari tiga sensor LDR yang disusun dalam bentuk piramida dengan tiga sisi. Setiap sensor LDR memiliki peran khusus, antara lain sebagai sensor referensi, pengukur sudut elevasi, dan pengukur sudut azimuth matahari.



Gambar 5. Mobile sun tracker 3-DOF (a) Desain 3D, (b) Prototipe

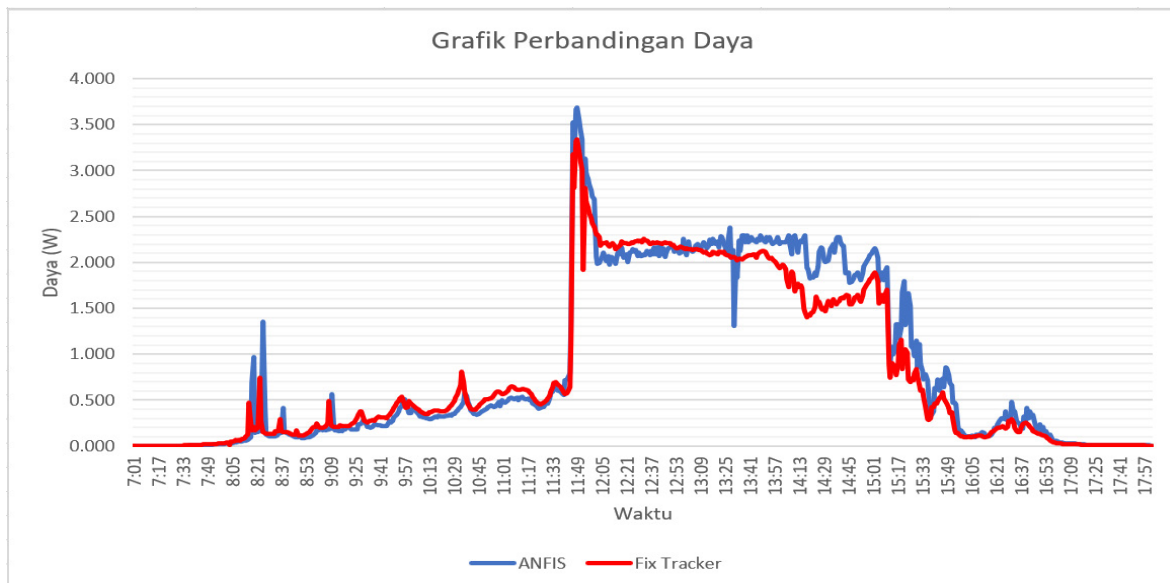
Tiga motor stepper digunakan untuk menggerakkan sun tracker menuju posisi optimal berdasarkan data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut. Dengan adanya prototipe sun tracker ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan energi dari panel surya dengan memastikan bahwa panel selalu menghadap matahari secara tepat sepanjang hari. Hal ini memiliki potensi dampak positif dalam meningkatkan pemanfaatan sumber energi matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.



Gambar 6. Konfigurasi motor stepper dan sensor (a) Posisi komponen, (b) Desain 3D

III. HASIL /TEMUAN

Prototipe penjejak matahari telah berhasil dirancang dan diuji. Proses pengujian melibatkan pemantauan aktivitas penjejak selama satu hari penuh. Selain itu, dilakukan perbandingan dengan dua jenis penjejak matahari, yaitu sun tracker dengan ANFIS dan penjejak tetap (fix tracker). Proses pengujian dilakukan dengan menempatkan penjejak matahari di bawah sinar matahari untuk mengumpulkan data tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Data yang dihasilkan dikumpulkan untuk analisis lebih lanjut. Pengujian dimulai pukul 07:00 saat matahari terbit dan berlanjut hingga pukul 18:00 saat matahari terbenam.



Gambar 7. Grafik perbandingan daya dari masing-masing sun tracker

Pada Gambar 7 terdapat grafik perbandingan perolehan daya antara sistem ANFIS dan fix tracker selama satu hari. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa perolehan daya tertinggi terjadi antara pukul 11:40 dan 12:00. Sebaliknya, perolehan daya terendah terjadi saat matahari mulai terbit dan terbenam, kira-kira antara pukul 07:00 – 08:00 dan 17:00 – 18:00. Data hasil akumulasi energi ditampilkan pada Tabel 1. Total energi yang terkumpul selama periode pengujian adalah 9,571Wh untuk sistem ANFIS dan 8,931Wh untuk fix tracker. Energi rata-rata yang dihasilkan adalah 0,798 Wh untuk ANFIS dan 0,744Wh untuk fix tracker. Energi tertinggi yang terkumpul adalah 2,187Wh untuk ANFIS dan 2,209Wh untuk fix tracker, terjadi pada pukul 13:00. Dengan demikian, terjadi peningkatan perolehan energi listrik sebesar 7,166% pada sun tracker ANFIS.

Hasil ini mencerminkan bagaimana sun tracker dengan metode ANFIS mengumpulkan energi listrik selama periode pengujian, dengan perubahan energi yang signifikan sepanjang hari seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari. Puncak energi terjadi pada pukul 13:00 saat intensitas matahari mencapai tingkat tertinggi, sementara energi terendah tercatat pada pukul 18:00 menjelang matahari hampir terbenam. Selain itu, di antara pukul 13:00 – 15:00, sun tracker ANFIS berhasil mencatat perolehan daya yang lebih tinggi dibandingkan sun tracker lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa algoritma ANFIS dapat mengendalikan sun tracker secara optimal dalam menjejak cahaya matahari. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sun tracker dengan ANFIS terbukti unggul dalam perolehan energi listrik dibandingkan sistem sun tracker lainnya.

Tabel 1. Energi yang dihasilkan oleh sun tracker

Waktu	Fix Tracker (Wh)	ANFIS (wh)
07:00	0,008	0,006
08:00	0,148	0,154
09:00	0,303	0,245
10:00	0,462	0,376
11:00	1,113	1,152
12:00	2,209	2,105
13:00	2,087	2,187
14:00	1,643	2,065
15:00	0,794	1,061
16:00	0,151	0,204
17:00	0,013	0,016
18:00	0,000	0,000
Total	8,931	9,571
Rata-rata	0,744	0,798
Max	2,209	2,187
Min	0,000	0,000

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sun tracker mampu menghasilkan energi listrik dengan puncak energi terkumpul terjadi saat intensitas matahari mencapai tingkat tertinggi, yaitu pada pukul 13:00. Meskipun energi terendah terjadi pada pukul 18:00 saat matahari hampir terbenam, panel surya masih mampu menghasilkan

sejumlah kecil energi. Rata-rata energi yang diperoleh oleh sun tracker dengan ANFIS selama periode pengujian adalah sekitar 0,798Wh. Hal ini mengindikasikan potensi untuk mengumpulkan energi listrik yang bermanfaat dari sinar matahari, terutama pada puncak intensitas cahaya matahari.

Hasil ini menegaskan pentingnya penggunaan sun tracker atau penjejak matahari untuk memaksimalkan perolehan energi dari panel surya dengan memastikan bahwa panel selalu menghadap matahari secara optimal sepanjang hari. Dengan demikian, sistem penjejak matahari yang efisien dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan energi panel surya dan memperluas potensi penggunaan sumber energi terbarukan.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini adalah pengembangan sebuah prototipe sun tracker berbasis mobile tetrahedron yang menggunakan mikrokontroler ATmega2560 dan menerapkan algoritma ANFIS. Perangkat ini memungkinkan penjejakkan posisi matahari dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan presisi. Rancangan sun tracker mobile ini melibatkan penggunaan sensor tetrahedron sebagai detektor arah cahaya dan motor stepper sebagai penggerak panel surya. Sensor mengambil data cahaya dan menghitung posisi matahari. Sun tracker ini dapat dipasang pada platform bergerak dan mampu menjejak matahari dalam 3 (tiga) Degree of Freedom (DOF). Dengan penerapan algoritma ANFIS pada sun tracker mobile tetrahedron, hasil pengukuran menunjukkan rata-rata tegangan sebesar 2,62V, arus rata-rata sebesar 190,613mA, dan daya rata-rata sebesar 0,798W. Selain itu, total energi listrik yang berhasil dikumpulkan selama satu hari penuh pada sun tracker ANFIS adalah sebesar 9,571Wh. Di samping itu, pada fix tracker sebesar 8,931Wh. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sun tracker yang menggunakan metode ANFIS dapat meningkatkan perolehan energi listrik sebesar 7,166% dari fix tracker.

DAFTAR PUSTAKA

- Awasthi, A. 2020. Review on Sun Tracking Technology in Solar PV System. *Energy Reports*, 6: 392–405.
- Away, Y. and Ikhsan, M. 2017. Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry. *Autom. Constr.*, 73: 175–183.
- Away, Y. Rahman, A. Auliandra, T. R. and Firdaus, M. 2017. Penerapan Logika Fuzzy Pada Sun Tracker Dual Axis Berbasis Sensor Tetrahedron Geometri. in *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*. pp. 1–7.
- Azmi, S. Away, Y. and Sara, I. D. 2016. Kajian Aspek Kecepatan dan Ketepatan pada Sun Tracker Dua Sumbu Berbasis Sensor Berbentuk Tetrahedron. *J. Rekayasa Elektro*, 15(2): 1–9.
- Güney, T. 2019. Renewable Energy, Non-Renewable Energy and Sustainable Development. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol*, 26(5): 389–397.
- Haider, M. R. Shufian, A. Alam, M. N. Hossain, M. I. Islam, R. and Azim, M. A. 2021. Design and Implementation of Three-Axis Solar Tracking System with High Efficiency. in *International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD)*. pp. 1–5.
- Kesava, A. A. A. E. P. and Lim, W. 2018. Triple-Axis Tracking Control Algorithm for Maximizing Solar Energy Harvesting on A Moving Platform. *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, 13(16): 4617–4624.
- Novandri, A. Melinda, and Away, Y. 2022. PID Controllers Performance on Dual Axis Tracking with Tetrahedron Based Sensor. *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, 7(4): 371–382.

AICOM: APLIKASI MONITORING EKOSISTEM DAN FRAGMENT KARANG BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)

Nur Fadli^{1,2*}, Haekal Azief Haridhi^{1,2}, Husaini Husaini³, Kahlil Muchtar⁴, Yudi Haditiar^{1,2}, Muhammad Nanda^{1,2}, Maria Ulfah^{1,2}, Naufal Alkhalis³, Cut Nadilla Maretina³, Intan Malayana², Arsa Cindy Safitri², Kris Handoko⁵

¹ Pusat Riset Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala

² Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala

³ Program Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala

⁴ Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

⁵Badan Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) Padang, Kementerian Kelautan dan Perikanan

Penulis korespondensi: nurfadli@usk.ac.id

RINGKASAN

Provinsi Aceh dengan luas wilayah perairannya mencapai 295.370 km² memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi termasuk ekosistem terumbu karang. Meskipun demikian, setidaknya 45% dari terumbu karang tersebut dalam kondisi terancam karena berbagai faktor. Salah satu hal penting yang dilakukan dalam kegiatan pengelolaan sumberdaya terumbu karang adalah kegiatan pemantauan/monitoring dan rehabilitasi terumbu karang. Selama ini, kegiatan monitoring ekosistem dan pengukuran fragmen transplan terumbu karang (pada kegiatan rehabilitasi) masih dilakukan secara manual dan pada umumnya memerlukan waktu yang panjang serta sumberdaya yang banyak terutama dalam kegiatan pengumpulan data di lapangan. Oleh karena itu, Pusat Riset Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala (PRKP USK) dan Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut (DJPRL) Kementerian Kelautan dan Perikanan, beserta Pusong Diving Club (PDC) menghadirkan inovasi “*Artificial Intelligence for Coral Monitoring (AICOM)*”. AICOM adalah aplikasi berbasis web yang dikembangkan dengan tujuan untuk membantu proses monitoring ekosistem terumbu karang dan pengukuran fragmen transplan. AICOM dapat diakses secara online (www.aicom.usk.ac.id) dan dapat digunakan oleh semua pihak. AICOM memiliki dua fitur utama yaitu: *reef eco monitoring* (untuk monitoring terumbu karang) dan *coral-fragment area tracker* (untuk pengukuran fragmen transplan terumbu karang). Aplikasi ini diharapkan mampu memberikan solusi dan menampilkan data penilaian tutupan karang dan pertumbuhan karang transplantasi secara cepat dan dapat diakses oleh semua pihak.

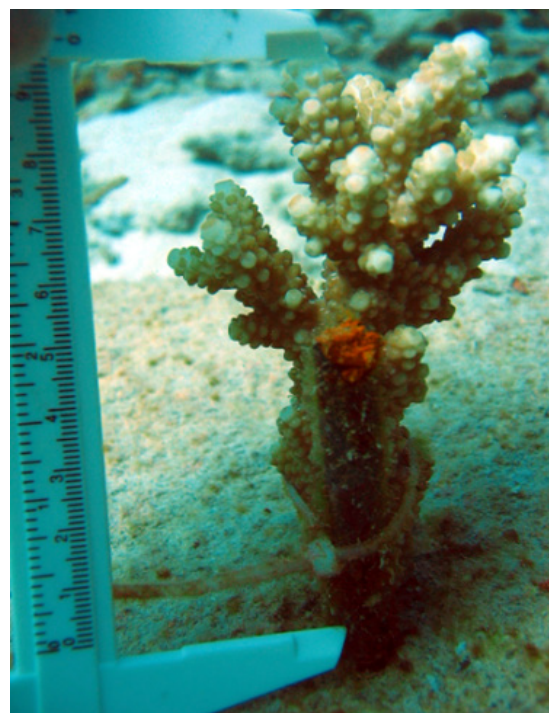
I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki kawasan terumbu karang yang tinggi dan keanekaragaman hayati laut yang kompleks (Hadi et al. 2020). Ekosistem terumbu karang juga dapat ditemukan di perairan Aceh (Baird et al. 2012, Fadli et al. 2014). Meskipun demikian, setidaknya 45% dari terumbu karang tersebut dalam kondisi terancam karena berbagai faktor. Faktor – faktor tersebut seperti faktor alam, faktor manusia, perubahan iklim, lingkungan sekitar, lambatnya laju pertumbuhan dan regenerasinya, dan pemanfaatan lingkungan tata ruang laut yang tidak sesuai (Fadli et al. 2012, Ilhamsyah et al. 2014, Giyanto et al. 2017, Utama and Hadi 2018). Padahal, peranan dan fungsi ekosistem terumbu karang sangat besar pada sektor pariwisata dan perikanan. Kondisi terumbu karang di Indonesia pada tahun 2019 dilaporkan 33,82% masuk kategori buruk, 37,38% masuk kategori cukup, 22,38% masuk kategori baik dan 6,42% masuk kategori sangat baik (Hadi et al. 2020).

Untuk mengatasi permasalahan serta mengurangi dampak kerusakan ekosistem terumbu karang, diperlukan langkah-langkah pengelolaan yang efektif, berkelanjutan, sinergis, dan terintegrasi. Salah satu aspek penting dalam pengelolaan sumber daya terumbu karang adalah pelaksanaan kegiatan pemantauan secara rutin di kawasan terumbu karang dan kegiatan rehabilitasi karang di kawasan yang mengalami degradasi (Hill and Wilkinson 2004, Fadli et al. 2014). Hingga saat ini, kegiatan pemantauan ekosistem dan pengukuran fragmen terumbu karang dalam kegiatan rehabilitasi masih dilakukan secara manual, yang umumnya memakan waktu lama dan membutuhkan banyak sumber daya, terutama dalam pengumpulan data di lapangan (Gambar 1) (Alkhalis et al. 2024). Selain itu, kegiatan-kegiatan tersebut juga tidak bisa dilakukan oleh siapa saja karena memerlukan sumber daya manusia yang telah terlatih.



(a)



(b)

Gambar 1. Pemantauan ekosistem (a) dan pengukuran fragmen terumbu karang dalam kegiatan rehabilitasi (b) masih dilakukan secara manual

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Konsep inovasi

Sebagai upaya untuk memperkuat pelestarian dan pemantauan ekosistem laut, Pusat Riset Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala (PRKP USK) bekerja sama dengan Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut (DJPRL) Kementerian Kelautan dan Perikanan, serta Pusong Diving Club (PDC), mengembangkan sebuah inovasi yang diberi nama “*Artificial Intelligence for Coral Monitoring (AICOM)*”.

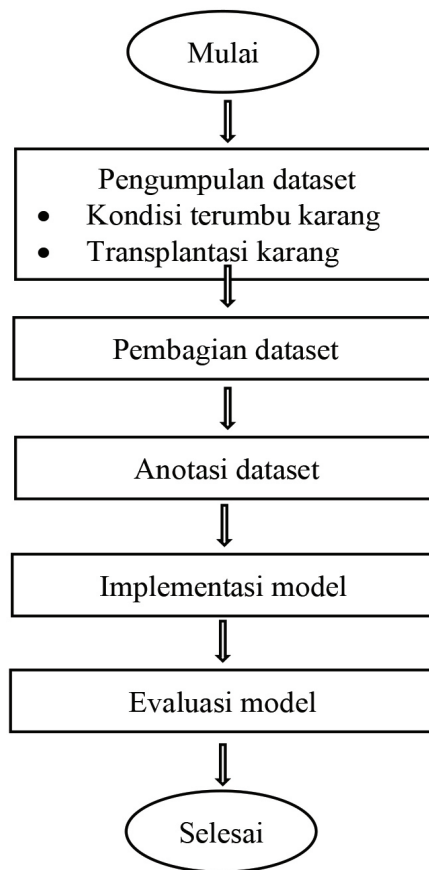
AICOM bertujuan untuk membantu proses monitoring ekosistem terumbu karang dan pengukuran fragmen transplan. AICOM diharapkan mampu memberikan solusi dan menampilkan data penilaian tutupan karang dan pertumbuhan karang transplantasi secara cepat dan dapat diakses oleh semua pihak. Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan (AI), AICOM menawarkan kemampuan untuk mengolah data secara cepat dan efisien, membantu peneliti, penyelam, dan komunitas kelautan dalam memahami dinamika terumbu karang yang terancam. Melalui aplikasi ini, diharapkan monitoring terumbu karang dapat dilakukan secara lebih efektif, cepat, dan berkelanjutan, guna mendukung keberlanjutan ekosistem laut di masa depan.

Hal spesifik dan keunggulan inovasi AICOM adalah:

- Web Application: aplikasi web yang mudah diakses oleh semua pihak.
- Cepat dan Akurat: menyediakan data penilaian pertumbuhan karang transplantasi dan tutupan karang secara cepat.
- Efisiensi: menghemat waktu dan sumber daya dalam pengumpulan dan penyampaian data.
- Dapat Diakses: Semua pihak dapat mengakses data penilaian dengan mudah.

2.2 Pengembangan dan pengumpulan data AICOM

Pengembangan AICOM dilakukan dengan beberapa tahap. Tahapan pertama yaitu pengumpulan dataset yang diperlukan untuk pengembangan AICOM. Tahapan kedua yaitu pembagian dataset. Dataset yang telah dikumpulkan dibagi menjadi beberapa subset: untuk pelatihan, pengujian, dan validasi model AI. Selanjutnya dilakukan anotasi dataset. Pada tahap ini, dataset diberi label atau anotasi yang diperlukan, terutama untuk dataset memerlukan klasifikasi atau kategori khusus untuk memfasilitasi pelatihan model AI. Tahapan selanjutnya implementasi model yaitu model dibangun dan diterapkan menggunakan dataset yang telah diolah. Ini adalah proses di mana algoritma pembelajaran mesin atau analisis data diterapkan pada dataset. Kemudian dilakukan evaluasi model. Pada tahapan ini, kinerja model dievaluasi menggunakan metrik tertentu untuk menentukan keefektifan dan akurasi dalam melakukan tugas yang diinginkan. Akhirnya, model yang telah selesai digunakan pada AICOM (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram pengembangan AICOM

Pengumpulan data yang diperlukan untuk pengembangan AICOM dilakukan di Pulau Pusong, Kabupaten Aceh Barat Daya, Propinsi Aceh (Gambar 3).



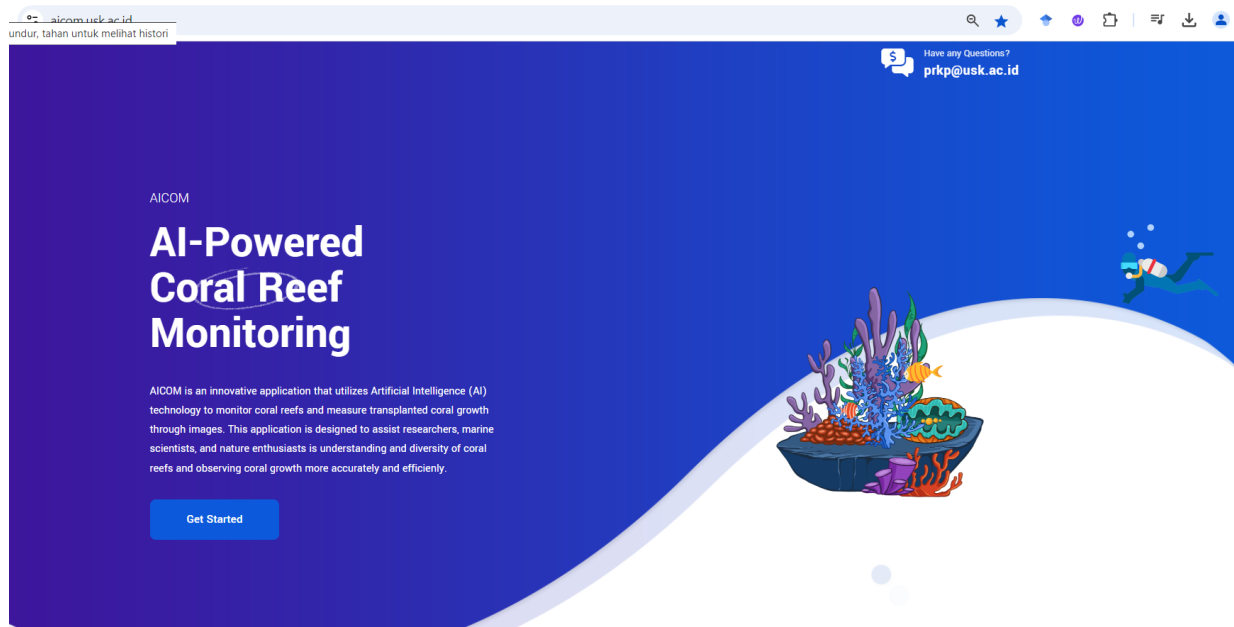
Gambar 3. Lokasi Pengumpulan data di Pulau Pusong, Kabupaten Aceh Barat Daya, Propinsi Aceh.

III. HASIL /TEMUAN

3.1 Inovasi AICOM

Aplikasi AICOM telah berhasil dikembangkan dan diluncurkan pada tanggal 23 November 2023 serta dapat diakses secara online melalui (Gambar 4 dan Gambar 5):

<https://aicom.usk.ac.id/>



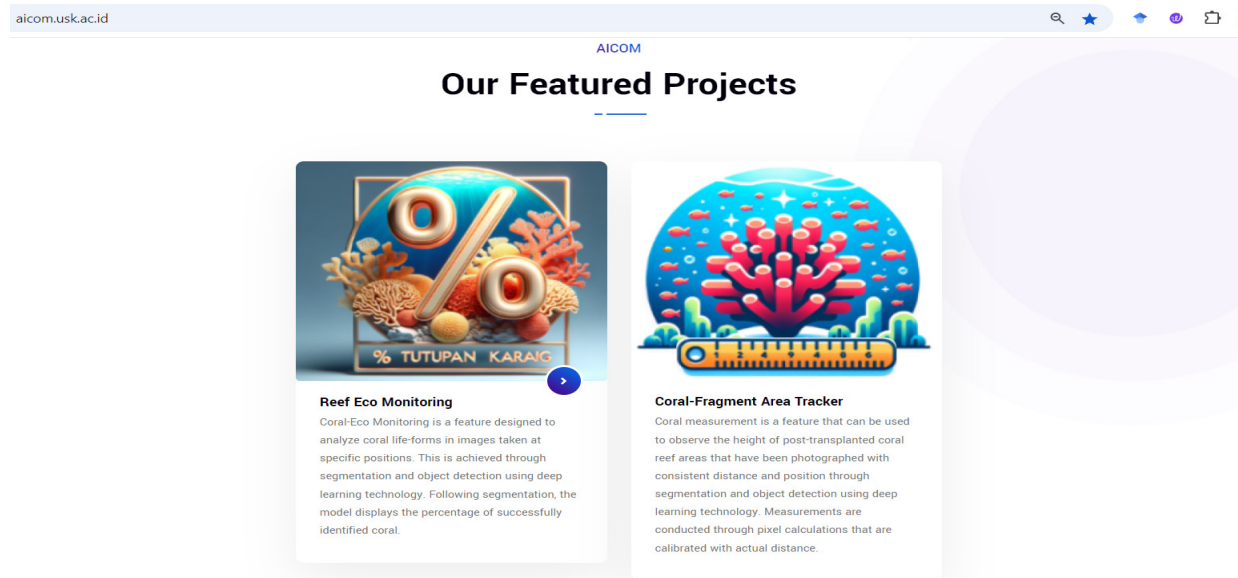
Gambar 4. Tampilan halaman depan AICOM (<https://aicom.usk.ac.id/>).



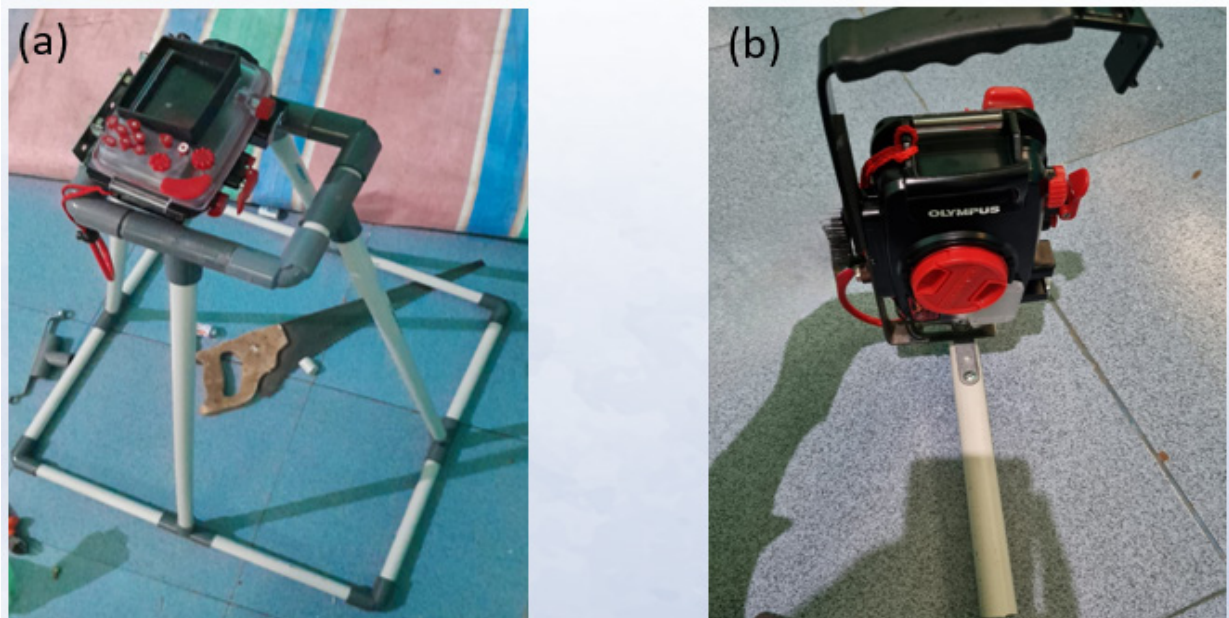
Gambar 5. Peluncuran AICOM oleh Wakil Rektor Bidang Perencanaan, Kemitraan, dan Bisnis Universitas Syiah Kuala, Prof. Dr. Ir. Taufiq S., M.Eng., IPU, Dr. Kusdiantoro, S.Pi., M.Sc, Sekretaris Ditjen Pengelolaan Kelautan dan Ruang Laut Kementerian Kelautan dan Perikanan RI, Fajar Kurniawan, S.T., M.AP, Kepala Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut, Haekal Azief Haridhi, S.Kel., M.Sc., Ph.D, Ketua PRKP USK dan Prof. Dr. Nur Fadli, S. Pi., M. Sc, Ketua Tim AICOM pada tanggal 23 November 2023

3.2 Fitur utama AICOM

Secara umum, AICOM memiliki dua fitur utama yaitu: *reef eco monitoring* (untuk monitoring terumbu karang) dan *coral-fragment area tracker* (untuk pengukuran fragmen transplan terumbu karang) sehingga pengguna dapat memilih fitur sesuai kebutuhan mereka (Gambar 6). Untuk kebutuhan AICOM, foto tutupan karang dan fragmen karang diambil sesuai standar yang telah ditentukan (Gambar 7).



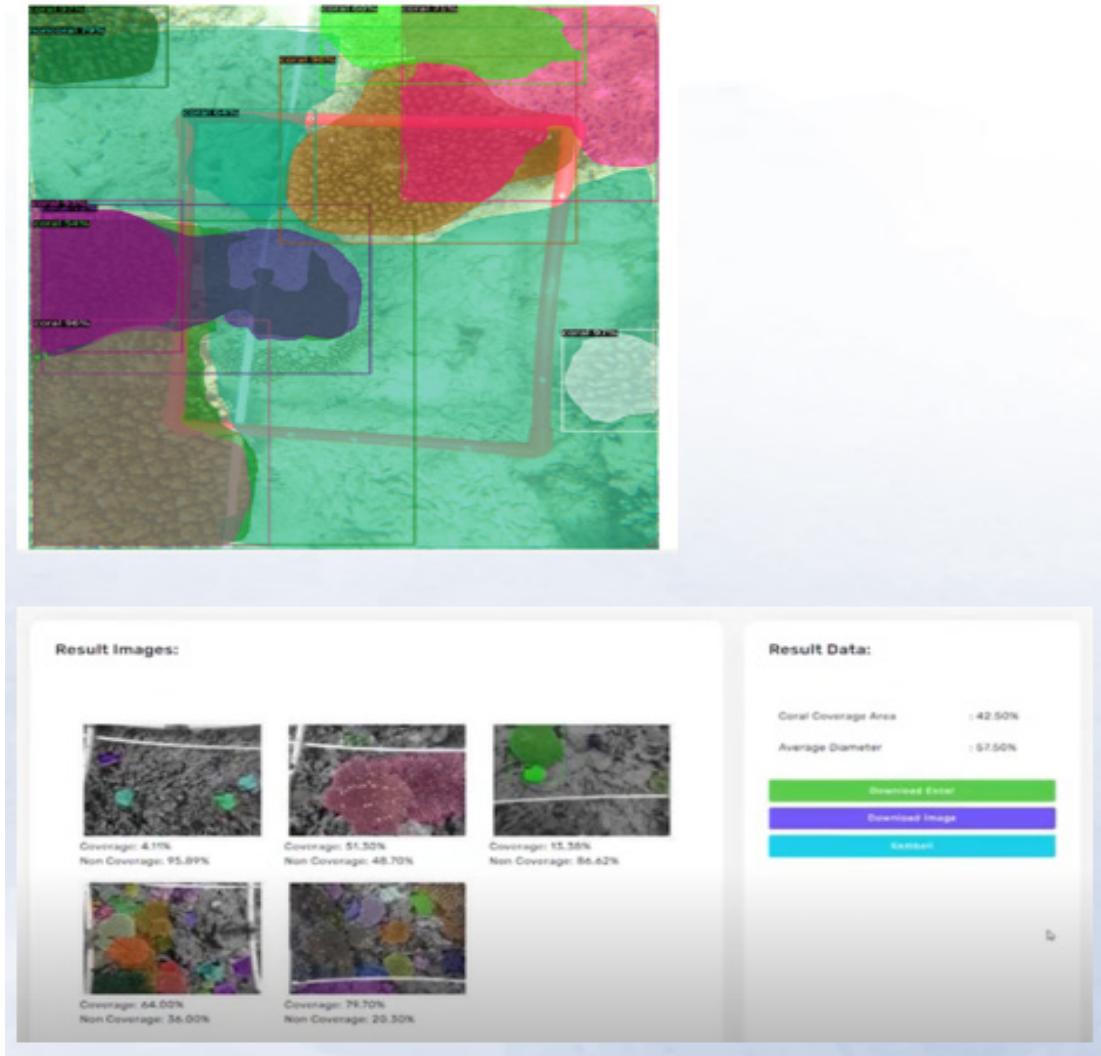
Gambar 6. Dua fitur utama AICOM yaitu: *reef eco monitoring* (untuk monitoring terumbu karang) dan *coral-fragment area tracker* (untuk pengukuran fragmen transplan terumbu karang)



Gambar 7. (a) Kerangka foto untuk mengukur tutupan karang (b) Kerangka foto untuk mengukur transplantasi karang

3.2.1 Fitur reef eco monitoring

Fitur ini menerapkan algoritma Mask R-CNN untuk mendeteksi dan memisahkan objek terumbu karang guna menghitung persentase tutupan karang hidup. Pengguna cukup mengupload foto tutupan karang yang diambil sesuai standar di AICOM.



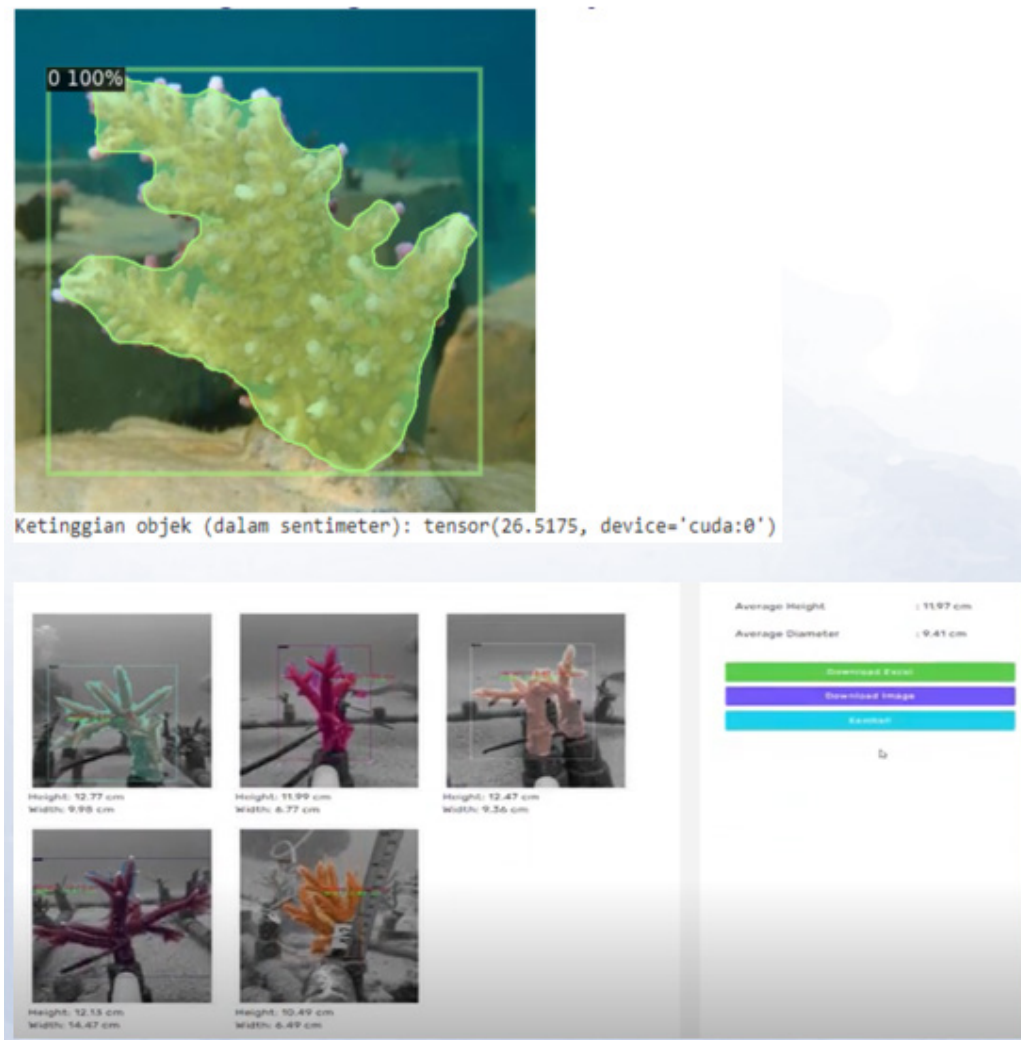
Gambar 8. Tampilan fitur reef eco monitoring di AICOM

Kemudian, AICOM akan menghitung secara otomatis persentase tutupan karang hidup dan mati dari foto tersebut. Pengguna dapat mengupload sebanyak 50 foto dalam sekali analisis. Selanjutnya, pengguna dapat mengunduh hasilnya dalam bentuk excel sehingga dapat dipergunakan dalam berbagai analisis lainnya (Gambar 8).

3.2.2 Fitur coral-fragment area tracker

Fitur ini juga menggunakan algoritma Mask R-CNN untuk melihat tinggi dan lebar karang sebagai indikator pertumbuhan. Pengguna hanya perlu mengunggah foto fragmen karang yang telah diambil sesuai dengan standar yang diperlukan oleh AICOM. AICOM kemudian secara otomatis akan menghitung pertumbuhan

fragmen karang tersebut. Sama dengan fitur *reef eco monitoring*, dalam satu kali analisis pengguna dapat mengunggah hingga 50 foto. Hasil analisis juga dapat diunduh dalam format excel untuk keperluan analisis lebih lanjut (Gambar 9).



Gambar 9. Tampilan fitur *coral-fragment area tracker* di AICOM

IV. KESIMPULAN

Aplikasi AICOM telah berhasil dibuat dan dirilis. Aplikasi ini diharapkan dapat memperkuat upaya pelestarian serta pemantauan ekosistem laut, terutama ekosistem terumbu karang. AICOM menawarkan keunggulan berupa kemudahan akses bagi berbagai pihak melalui platform berbasis web, menyediakan data penilaian pertumbuhan karang transplantasi dan tutupan karang dengan cepat, serta menghemat waktu dan sumber daya dalam proses pengumpulan dan penyajian data.

Kedepan, AICOM diharapkan dapat dikembangkan ke versi yang lebih update dengan penambahan kelas jenis karang serta peningkatan akurasi dari aplikasi AI, persiapan data yang cukup dengan multi-class labeling dan aplikasi berbasis mobile.

Ucapan Terima Kasih

Inovasi AICOM dikembangkan melalui Kegiatan Pendanaan Matching Fund Kedaireka sesuai dengan Kontrak Pelaksanaan Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Nomor: 284/E1/HK.02.02/2023 Tanggal 02 Agustus Tahun 2023 dan Kontrak Pelaksanaan Program Matching Fund Kedaireka Nomor: 53/UN11/SPK/BPPTNBH-PPM/2023 Tanggal 08 Agustus Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkhalis, N. H. Husaini, H. A. Haridhi, C. N. Maretna, N. Fadli, Y. Haditiar, M. Nanda, M. Ulfah, K. Handoko, and I. Malayana. 2024. Implementasi Mask R-CNN pada Perhitungan Tinggi dan Lebar Karang untuk Memantau Pertumbuhan Transplantasi Karang. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11:603-614.
- Baird, A. H. S. J. Campbell, N. Fadli, A. S. Hoey, and E. Rudi. 2012. The shallow water hard corals of Pulau Weh, Aceh Province, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation dan Legislation* 5:23-28.
- Fadli, N., S. J. Campbell, K. Ferguson, J. Keyse, E. Rudi, A. Riedel, and A. H. Baird. 2012. The role of habitat creation in coral reef conservation: a case study from Aceh, Indonesia. *Oryx*. 46:501-507.
- Fadli, N. Z. A. Muchlisin, M. Affan, and S. Rahimi. 2014. The status of coral reefs in Aceh Besar district, Aceh Province, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation dan Legislation* 7:365-371.
- Giyanto, G. A. Muhammad, T. Hadi, A. Budiarto, M. Hafizt, A. Salatalohy, and M. Yulia Iswari. 2017. Status terumbu karang Indonesia 2017. Puslit Oseanografi - LIPI, Jakarta.
- Hadi, T. A. Muhammad, G. Giyanto, B. Prayudha, O. Johan, A. Budiarto, A. Rezza, L. Alifatri, S. Sulha, and S. Shar. 2020. The Status of Indonesian Coral Reefs 2019.
- Hill, J. and C. Wilkinson. 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs: A Resource for Managers. Version 1. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Ilhamsyah, Y.N. Fadli, I. Setiawan, and H. A. Haridhi. 2014. Notes: coral reef bleaching in Weh Island, Indonesia, a natural climate variability or global climate change impact? *AAAL Bioflux* 7:508-515.
- Utama, R. and T. Hadi. 2018. Recent coral reef conditions in Weh Island, Aceh Province, Indonesia. *Ocean Life*. 2:47-53.

INOVASI MEMBRAN SERAT BERONGGA UNTUK PRODUKSI AIR MINUM BEBAS BAKTERI

Nasrul Arahman*, Sri Aprilia, Rinal Dia'ul Haikal, Muhammad Azharry

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jalan Syech Abdurrauf No 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

*Penulis korespondensi: nasrular@usk.ac.id

RINGKASAN

Banyak kasus air sumur masyarakat di wilayah yang terkena imbas tsunami di Banda Aceh mengandung zat padat terlarut (*Total Dissolved Solid*) dan klorida melebihi standar baku mutu untuk pertimbangan kesehatan. Diperlukan perlakuan khusus untuk menghilangkan zat padat terlarut dan klorida dari air tersebut. Teknologi membran telah diperkenalkan secara luas sebagai teknik yang menjanjikan untuk produksi air bersih dengan kualitas tinggi. Pada penelitian ini, teknik separasi dengan lapisan membran digunakan untuk memisahkan kandungan zat padat terlarut dan klorida dari sampel air sumur masyarakat Banda Aceh yang terkena tsunami. Membran serat berongga dibuat dengan melarutkan polietersulfon and 2-(metakriloiloksi)etil posporil klorin ke dalam pelarut N-metil-2-pirolidon. Studi ini mempelajari pengaruh konsentrasi membran *modifying agent* terhadap struktur morfologi membran yang dihasilkan. Kemudian kinerja membran terhadap filtrasi dilakukan dengan menggunakan air deionisasi. Lebih lanjut, kinerja membran dilakukan untuk mengurangi kadar kekeruhan, TDS, CaCO_3 , Cl, NO_3 , NO_2 , total coliform, dan bakteri *E. coli* dari sampel air sumur. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semua parameter yang diuji dapat dikurangi sampai nilainya berada di bawah standar baku mutu air bersih.

PENDAHULUAN

Air adalah sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan dan kemajuan ekonomi, terutama di pedesaan. Kualitas dan kuantitas air di suatu tempat bergantung pada berbagai faktor, seperti curah hujan, iklim, vegetasi, dan aktivitas manusia. Kelangkaan air global bukan hanya akibat kekurangan secara fisik tetapi juga penurunan kualitas air, yang membatasi jumlah air bersih yang tersedia. Polusi air, yang mencemari sungai, danau, dan sumber air baku, merupakan ancaman global bagi manusia, organisme, serta iklim, dan dapat mengubah keseimbangan ekosistem (Sharma dkk., 2024). Polusi air terjadi ketika tingkat polutan mengganggu penggunaan air sesuai yang diinginkan. Setiap perubahan dalam sifat kimia, fisik, atau biologis air dapat mengakibatkan pencemaran, dan proses pemulihan air yang tercemar bisa sangat sulit dan mahal. Polusi ini terus meningkat di

banyak negara, memengaruhi kesehatan, lingkungan, dan ekonomi masyarakat di seluruh dunia (Plessis, 2022). Pada tanggal 26 Desember 2004, gempa bumi dan tsunami di Aceh menyebabkan kerusakan besar pada sarana dan prasarana kehidupan masyarakat (Matsumaru dkk., 2012). Salah satu dampak signifikan adalah penurunan kualitas air, khususnya pada air sumur masyarakat di Banda Aceh dan sekitarnya. Sumur-sumur yang berfungsi sebagai sumber air minum bagi sebagian besar warga Banda Aceh dan Aceh Besar terkontaminasi oleh limbah tsunami. Di berbagai wilayah bekas aliran limbah tsunami, kualitas air sumur telah melampaui batas standar baku mutu air yang aman bagi kesehatan, dengan padatan terlarut yang mencapai tiga kali lipat dari standar dan total coliform hingga 5000 per ml air (Ilyas dkk., 2006). Seiring meningkatnya jumlah penduduk pasca-rehabilitasi dan rekonstruksi Aceh, kebutuhan air bersih yang cukup dan berkualitas menjadi sangat mendesak. Namun, perusahaan daerah air minum belum dapat mencukupi seluruh kebutuhan air bersih warga Banda Aceh, sehingga diperlukan metode alternatif untuk mengolah air baku sebagai pengganti air sumur.

Dalam pengolahan air minum konvensional, bakteri patogen biasanya dihilangkan melalui proses desinfeksi menggunakan klorin, yang murah dan efektif. Namun, klorin dapat bereaksi dengan bahan organik terlarut, menghasilkan produk samping desinfeksi atau disinfection by-products (DBPs) (Chu dkk., 2013). Beberapa DBP yang teridentifikasi termasuk trihalomethane (THM), haloacetic acid (HAA), dan berbagai senyawa lainnya (Culin dan Mustac, 2015). Produk DBP ini diketahui bersifat genotoksik, mutagenik, dan karsinogenik (Sun, 2009; Hosseinzadeh dkk., 2024).

Salah satu metode yang menjanjikan untuk menghasilkan air bersih dengan kualitas tinggi adalah teknologi filtrasi membran. Teknik ini telah berkembang pesat sebagai alternatif pengolahan konvensional seperti koagulasi, sedimentasi, dan filtrasi pasir (Mohammad dkk., 2015; Su dkk., 2015). Penerapan teknologi membran untuk memproduksi air bersih secara massal dianggap lebih efisien dibandingkan metode konvensional dan telah diadopsi oleh negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, dan China sejak 1980-an (Baker, 2004). Dalam beberapa tahun terakhir, produksi membran meningkat tajam seiring meningkatnya kebutuhan air bersih di Timur Tengah, Afrika, dan Asia.

Keunggulan teknologi membran meliputi kemampuan menyaring bahan pencemar dengan rentang yang luas, operasi yang lebih sederhana, biaya operasi dan perawatan yang lebih rendah, penggunaan bahan kimia yang minimal, serta kemampuan menyaring patogen hingga 100% (Pearce, 2007; Arahman dkk., 2011; Septiani dan Untari, 2022).

Artikel ini mengulas konsep inovasi pengolahan air sumur masyarakat Kota Banda Aceh dengan teknik filtrasi menggunakan teknologi membran. Pengolahan air yang dimaksud adalah menghilangkan kandungan kekeruhan, total zat padat terlarut, kalsium karbonat, klorida, nitrat, nitrit, total coliform, dan E. coli.

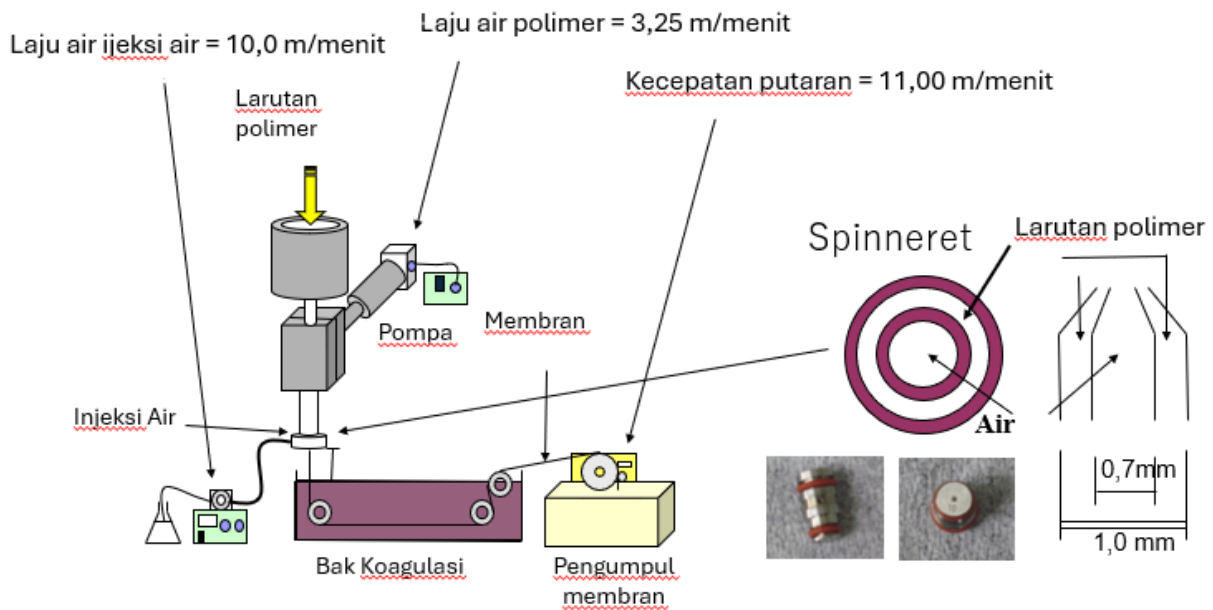
2. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1. Rancangan Filter Membran

Empat jenis membran filter dibuat di laboratorium dengan menggunakan polimer polietersulfon (PES), pelarut N-metil-2-pirrolidon (NMP), aditif polivinil pirolidon (PVP), dan 2-(metakriloiloksi)etil posforil klorida (MPC). Proses pencetakan membran dilakukan melalui metode inversi fasa yang diinduksi oleh non-pelarut (*non-*

solvent induced phase separation atau NIPS), yang dikenal sebagai metode *dry-wet spinning*. Larutan polimer dibuat dengan melarutkan PES dalam pelarut NMP dengan konsentrasi tetap 20% berat untuk setiap jenis membran. Satu jenis membran dibuat dengan hanya menggunakan komposisi PES tanpa aditif (M1). Tiga jenis membran lainnya dibuat dengan penambahan aditif polimer, yaitu PES+MPC0: 5% (M2), PES+MPC: 1% (M3), dan PES+PVP: 2% MPC: 1% (M4).

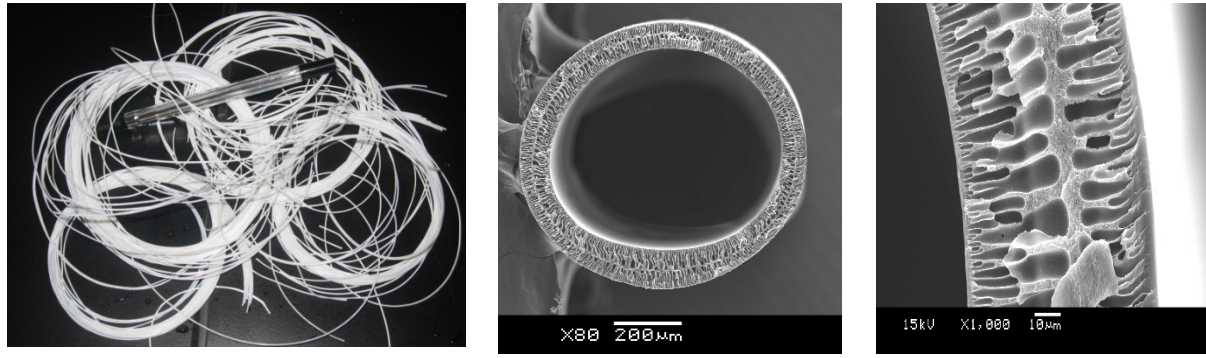
Larutan polimer ini dialirkan dari tangki dope melalui spinneret dengan bantuan pompa. Air diinjeksi ke pusat spinneret untuk membentuk rongga serat. Serat kemudian diarahkan ke dalam tangki koagulasi yang berisi air sebagai non-pelarut untuk memicu pemisahan fasa dan memadatkan membran, dibantu oleh motor pemutar (*take-up winder*). Laju alir polimer melalui spinneret diatur dengan pompa. Spinneret terdiri dari bagian luar dan dalam dengan diameter masing-masing 1,00 dan 0,70 mm. Membran yang terbentuk kemudian disimpan dalam air deionisasi untuk pengujian dan karakterisasi lebih lanjut.



Gambar 1. Skema peralatan pembuatan membran (Arahman dkk., 2011)

2.2. Rancangan Modul Membran Filter

Gambar 2 (a) adalah membran serat berongga (*hollow fiber*) yang dihasilkan dari proses produksi yang dijelaskan pada Gambar 1. Dalam 100 gram larutan polimer dapat menghasilkan sekitar 200 helai membran dengan panjang masing-masing 50 cm. Gambar 2 (b) merupakan foto pembesaran membrane Gambar 2 (a) bagian penampang utuh menggunakan Scanning electron microscopy (SEM), dan Gambar 2 (c) adalah foto struktur pori membrane pembesaran dari Gambar 2 (b) bagian potongan penampang.



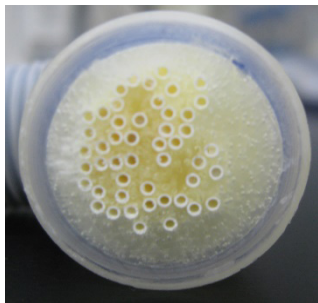
(a)

(b)

(c)

Gambar 2. Membran tipe serat berongga yang dihasilkan dari proses pembuatan pada Gambar 1

Membran yang ditunjukkan pada Gambar 2 dirangkai menjadi modul, melalui tahapan yang digambarkan pada Gambar 3, untuk kemudian digunakan dalam proses pengolahan air bersih.



M1



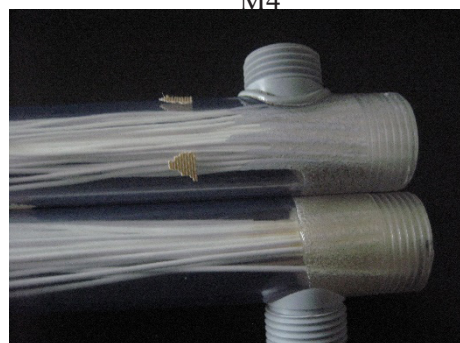
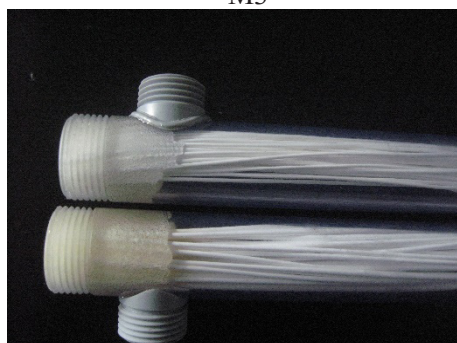
M2

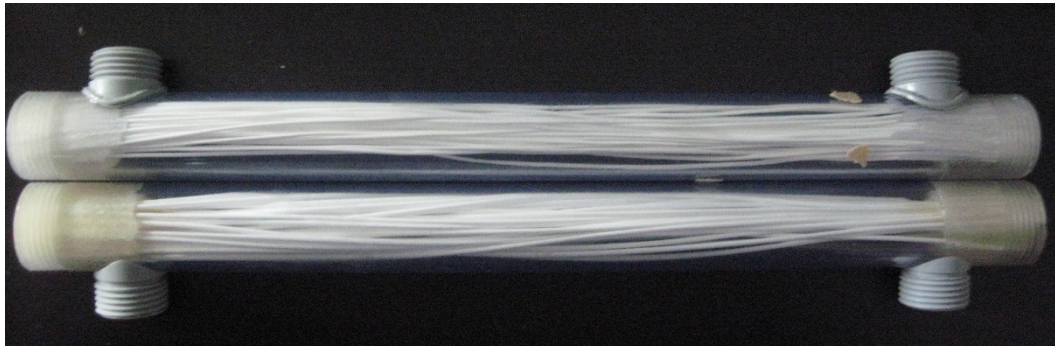


M3



M4

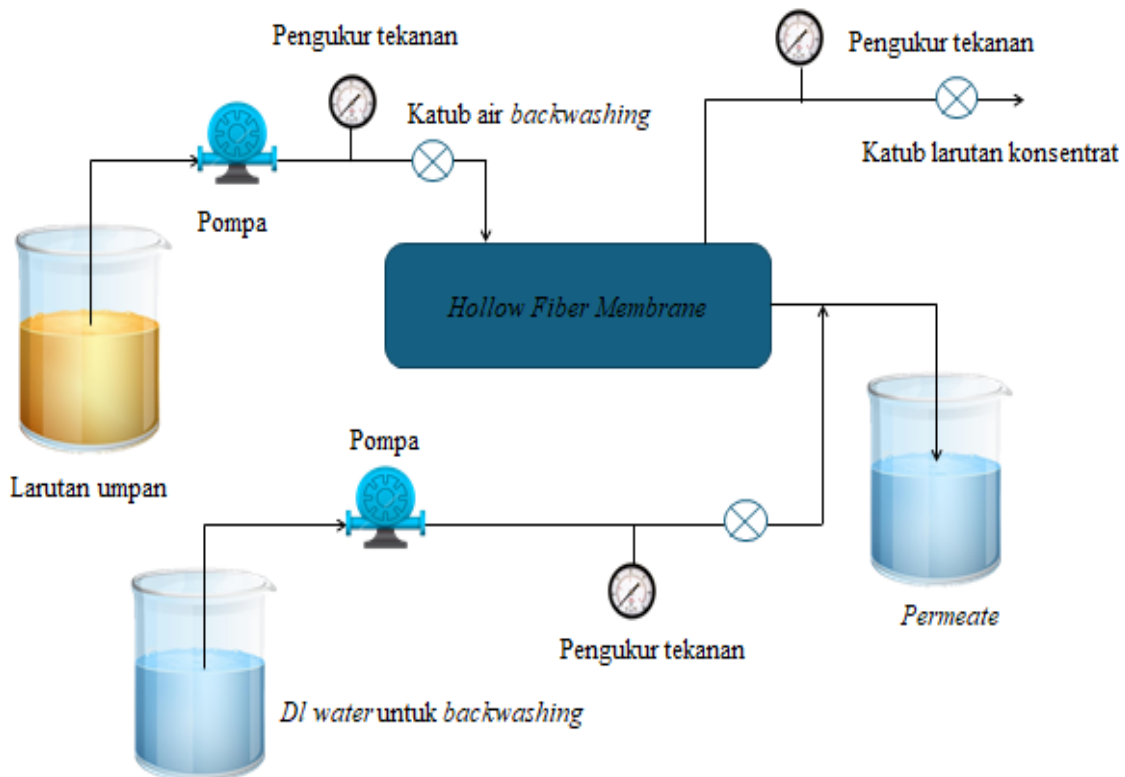




Gambar 3. Rangkaian modul membran serat berongga

2.3. Rancangan Sistem Pengolahan Air Bersih

Modul membran yang dirangkai pada Gambar 3 digunakan dalam proses ultrafiltrasi air sumur di Kota Banda Aceh. Pada tahap awal ultrafiltrasi, umpan berupa air deionisasi dialirkan dengan tekanan operasi 0,5 atm, menggunakan aliran bertekanan dari dalam menuju dinding luar membran serat berongga (*pressure-driven inside*). Umpan dipompa ke lapisan membran melalui pompa peristaltik dengan debit tertentu, dan air yang melewati membran (*permeate*) dikumpulkan pada interval waktu tertentu. Untuk mengukur kemampuan membran dalam menolak zat pengotor (*foulant*), larutan umpan berupa asam humat dianalisis menggunakan spektrofotometer, baik pada umpan maupun permeate. Setelah itu, proses filtrasi dilanjutkan dengan menggunakan air sumur masyarakat Banda Aceh. Peralatan untuk proses pengolahan air bersih ini ditunjukkan pada Gambar 4.



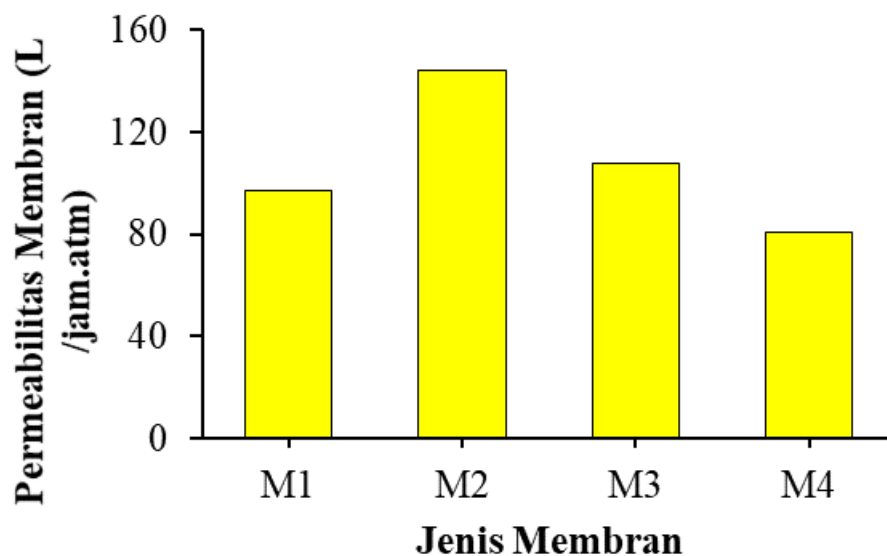
Gambar 4. Skema proses pengolahan air bersih dengan teknologi filtrasi membran

3. HASIL /TEMUAN

3.1 Kinerja Filtrasi Membran

Parameter utama yang menentukan kinerja membran meliputi kemampuan membran dalam melewatkan cairan, yang disebut sebagai permeabilitas air atau fluks, serta parameter rejeksi solut, yaitu kemampuan membran untuk menahan partikel tertentu dalam larutan. Permeabilitas air mengukur volume air yang melewati permukaan membran per satuan luas, waktu, dan tekanan operasi. Rejeksi solut, di sisi lain, menunjukkan persentase partikel dengan konsentrasi tertentu yang tertahan oleh membran dan tetap berada dalam larutan retentat. Membran dengan kinerja filtrasi yang baik memiliki permeabilitas air dan rejeksi solut yang tinggi (Haikal dkk., 2023).

Gambar 5 menunjukkan profil permeabilitas air dari membran dengan berbagai komposisi agen pemodifikasi. Terlihat bahwa membran M1 memiliki permeabilitas air tertinggi, yaitu 146 L/m².jam.atm. Membran M2 dibuat dengan menambahkan 0,5% MPC pada larutan dope, yang menghasilkan membran dengan lebih banyak pori dan ukuran pori yang lebih besar. Namun, penambahan MPC di atas 0,5% memperbesar ukuran pori lebih lanjut tetapi juga membentuk lapisan padat di dekat permukaan membran luar dan dalam, serta mempersempit pori dalam struktur sponge. Akibatnya, proses filtrasi menjadi terhambat, menyebabkan penurunan permeabilitas air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

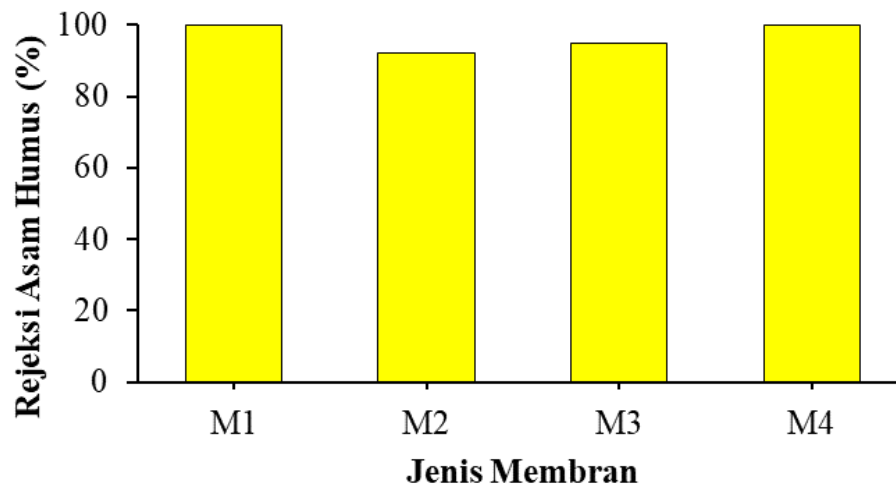


Gambar 5. Permeabilitas *deionized water* pada berbagai jenis membran

Pembentukan lapisan padat dan penyempitan pori pada struktur sponge ini disebabkan oleh peningkatan viskositas larutan polimer. Pada konsentrasi MPC yang lebih tinggi, MPC bertindak sebagai polimer tambahan, meningkatkan total konsentrasi polimer dalam larutan. Peningkatan ini menunda pemisahan fase dalam bak koagulasi selama solidifikasi membran.

3.2 Rejeksi Kontaminan Air oleh Membran

Kemampuan rejeksi terhadap larutan asam humus pada berbagai jenis membran *hollow fiber* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil uji menunjukkan bahwa membran M1 dan M4 memiliki nilai rejeksi mendekati 100%, menandakan tingkat efisiensi yang sangat tinggi dalam menyaring asam humus. Sementara itu, membran M2 dan M3 menunjukkan nilai rejeksi yang sedikit lebih rendah, namun tetap di atas 90%, yang merupakan standar yang baik dalam filtrasi bahan dengan ukuran partikel sebanding. Tingginya rejeksi pada semua jenis membran mengindikasikan efektivitas struktur morfologi membran dalam menahan partikel tertentu.



Gambar 6. Rejeksi partikel asam humat oleh berbagai jenis membran

Ukuran pori yang lebih kecil pada membran umumnya meningkatkan kemampuan rejeksi terhadap partikel dan kontaminan karena lebih efektif dalam menahan partikel-partikel berukuran besar, menghasilkan filtrasi yang lebih selektif. Namun, ukuran pori yang kecil ini juga membatasi aliran cairan (flux) yang dapat melewati membran, sehingga menurunkan flux permeat. Sebaliknya, pori yang lebih besar memungkinkan aliran cairan yang lebih tinggi karena hambatan yang lebih rendah terhadap aliran, yang meningkatkan flux. Namun, ini berakibat pada rejeksi yang lebih rendah, karena partikel dengan ukuran tertentu dapat lebih mudah melewati membran. Oleh karena itu, dalam desain membran, keseimbangan antara ukuran pori, permeabilitas, dan selektivitas menjadi penting, terutama untuk aplikasi yang memerlukan filtrasi optimal tanpa mengorbankan flux atau rejeksi secara signifikan (Jang dkk., 2024).

3.3. Kinerja membran untuk pengolahan air sumur tercemar limbah tsunami

Untuk mengevaluasi kinerja filtrasi membran dalam penerapan pengolahan air bersih, sampel air sumur dari masyarakat di Desa Jelingke, Kota Banda Aceh, digunakan sebagai larutan umpan. Sebelum proses filtrasi, sampel ini melewati tahap *pre-screening* menggunakan *membrane syringe filter* dengan pori-pori 0,45 μm . Filtrasi dilakukan pada tekanan modul yang seragam untuk semua jenis membran, yaitu sebesar 0,5 atm. Analisis kualitas air pada sampel sebelum dan sesudah filtrasi (permeat) terhadap sejumlah parameter ditampilkan dalam Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa air sumur sampel memiliki total zat padat terlarut yang melebihi ambang batas baku mutu, serta kandungan kloridanya hampir lima kali lebih tinggi dari standar tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa sampel air sumur dalam penelitian ini mengandung kadar garam yang cukup tinggi. Setelah dilakukan proses filtrasi dengan kondisi operasi yang telah dijelaskan, ditemukan bahwa semua parameter kualitas air berhasil dikurangi hingga berada di bawah standar baku mutu sesuai Permenkes Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002. Keempat membran tersebut mampu menurunkan parameter biologis total coliform dan E. coli hingga 100%, sementara untuk TDS, kemampuan penyisihan keempat membran mencapai di atas 80%.

Tabel 1. Kualitas air sumur sebelum dan sesudah filtrasi dengan membran

Parameter kualitas air	Standar*	Sampel air sumur	Hasil penyaringan dengan membran			
			M1	M2	M3	M4
Kekeruhan (NTU)	25	11.8	2.25	1.95	5.12	2.6
TDS (mg/L)	1500	5965	1090	1080	1175	1040
pH	6.5-8.5	7.0	7.55	7.40	7.26	7.49
CaCO ₃ (mg/L)	500	420	96.0	84.0	60	72.0
Klorida (mg/L)	250	1180	334	351.45	376.3	358.55
NO ₃ (mg/L)	10	4.9	0.32	0.61	0	0.83
NO ₂ (mg/L)	1	0.32	0.05	0.045	0.03	0.075
Total Coliform	50	2970	0	0	0	0
E. coli	0	735	0	0	0	0

*Standar baku mutu kualitas air, peraturan kementerian kesehatan: 32/MENKES/PER/2017

KESIMPULAN

Membran tipe serat berongga yang dikembangkan di Laboratorium Material Polimer Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala ini telah berhasil diproduksi dalam skala kecil, dengan memodifikasi komposisi polimer polyethersulfone (PES) dan aditif 2-(methacryloyloxy)ethyl phosphorylcholine (MPC) serta polyvinylpyrrolidone (PVP). Uji coba penggunaan membran tersebut untuk mengolah air sumur Masyarakat Kota Banda Aceh membuktikan bahwa semua parameter kualitas air bersih yang dianalisa berhasil diturunkan sampai di bawah standar kualitas air yang ditetapkan sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 32/MENKES/PER/2017. Semua bakteri yang terkandung dalam air baku, berhasil dihilangkan sampai 100 % setelah filtrasi dengan lapisan membrane serat berongga ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arahman, N., Arifin, B., Mulyati, S., Ohmukai, Y., dan Matsuyama, H., 2011, Improved Fouling Reduction of PES Hollow Fiber Membranes by Incorporation with Non-ionic Surfactant , *Research Journal of Chemistry and Environment*, 15: 212-216,
- Baker, R. W. 2004, *Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons, Hoboken.

- Chowdhury, S., Champagne, P. dan McLellan, J., 2010, Investigating Effects of Bromide Ions on Trihalomethanes and Developing Model for Predicting Bromodichloromethane in Drinking Water, *Water Research*, 44 (7): 2349-2359.
- Chu, W., Gao, N., Yin, D., dan Krasner, A.W., 2013, Formation and Speciation of Nine Haloacetamides, an Emerging Class of Nitrogenous DBPs, During Chlorination or Chloramination, *Journal of Hazardous Material*, 260: 806-812.
- Culin, J., dan Mustac, B., 2015, Environmental Risks Associated with Ballast Water Management Systems that Create Disinfection By-Products (DBPs), *Ocean & Coastal Management*, 105: 100-105.
- Haikal, R. D., Marom, A. Z., Aulia, M. P., Ambarita, A. C., Azwar, A., Fahrina, A., Bilad, M. R., Mulyati, S., Pasaoglu, M. E., Koyuncu, I., Arahman, N. (2023). Morphology and characteristics of polyethersulfone membrane modified with polyethylene glycol hexadecyl ether and nanocarbon. *Applied Chemical Engineering*, 7(1).
- Hosseinzadeh, M., Postigo, C., Porte, C. 2024. Toxicity and underlying lipidomic alterations generated by a mixture of water disinfection byproducts in human lung cells. *Science of The Total Environment*, 917, 170331.
- Ilyas, M, Arahman, N, dan Tarmizi, S.A., 2006, Kualitas Air Sumur Perumahan Masyarakat Kota Banda Aceh Pasca Bencana Alam Gempa Bumi dan Tsunami 26 Desember 2004, Laporan hasil penelitian. Kerja sama dengan Japan NGO Network on Indonesia (JANNI).
- Jang, H., Kang, S., Kim, J. (2024). Identification of Membrane Fouling with Greywater Filtration by Porous Membranes: Combined Effect of Membrane Pore Size and Applied Pressure. *Membranes*, 14(2), 46.
- Kumari, M., Gupta, S.K., Mishra, B.K., 2015, Multi-exposure Cancer and Non-cancer Risk Assessment of Trihalomethanes in Drinking Water Supplies – A Case Study of Eastern region of India, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113: 433-438.
- Kumar, R., Isloor, A.M., Ismail, A.F., dan Matsura, T, 2013, Performance Improvement of Polysulfone Ultrafiltration Membrane Using N-succinyl Chitosan as Additive, *Desalination*, 318: 1-8
- Lalia, B.S., Kochkodan, V., Hashaikeh, R., dan Hilal, N., 2013, A Review on Membrane Fabrication: Structure, Properties and Performance Relationship, *Desalination*, 326 : 77-95.
- Martín, A., Arsuaga, J.M., Roldán, N., Abajo, J., Martínez, A., Sotto, A., 2015, Enhanced Ultrafiltration PES Membranes Doped with Mesostructured Functionalized Silica Particles, *Desalination*, 357: 16-25.
- Matsumaru, R., Nagami, K., dan Takeya, K., 2012, Reconstruction of the Aceh Region Following the 2004 Indian Ocean Tsunami Disaster: A Transportation Perspective, *IATSS Research*, 36: 11-19.
- Mohammad, A.W., Teow, Y.H., Ang, W.L., Chung, Y.T., Oatley-Radcliffe, D.L., Hilal, N., 2015, Nanofiltration Membranes Review: Recent Advances and Future Prospects, *Desalination*, 356: 226-254.
- Pearce, G, 2007, Introduction to Membranes: Filtration for Water and Wastewater Treatment. *Filtration+Separation*, 44: 24-27.
- Plessis, A. 2022. Persistent degradation: Global water quality challenges and required actions. *One Earth*, 5(2), 129-131.
- Septiani, N. D., Untari, D. W. 2022. The Use and Potential of Membrane Technology for Wastewater Treatment in Post-COVID-19 Pandemic. In R. Trialih, F. E. Wardiani, R. Anggriawan, C. D. Putra, & A. Said (Eds.), *Indonesia Post-Pandemic Outlook: Environment and Technology Role for Indonesia Development*. Penerbit BRIN.
- Sharma, K., Rajan, S., dan Nayak, S. K. 2024. Water pollution: Primary sources and associated human health hazards with special emphasis on rural areas. In *Water Resources Management for Rural Development* (pp. 3-14). Elsevier.
- Su, Y-N., Lin, W-S., Hou, C-H, dan Den, W., 2015, Performance of Integrated Membrane Filtration and

Electrodialysis Processes for Copper Recovery from Water Polishing Wastewater, *Journal of Water Process Engineering*, 4: 149-158.

- Sun, Y-X., Wu, Q-Y., Hu, H-Y., dan Tian, J., 2009, Effect of Ammonia on the Formation of THMs and HAAs in Secondary Effluent Chlorination, *Chemosphere* 76: 631–637.
- Tokmak, B., Capar, G., Filiz B. Dilek, dan Ulku Yetis, 2004, Trihalomethanes and Associated Potential Cancer Risks in the Water Supply in Ankara, Turkey, *Environmental Research* 96: 345–352.

KANTONG AIR MINUM BERBAHAN DASAR KITOSAN DAN PATI *JANENG* UNTUK PENYARINGAN AIR MINUM DALAM KEADAAN DARURAT

Saiful¹, Maurisa Ajrina, Khairi, Mutia Farida

¹Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: saiful@usk.ac.id

RINGKASAN

Buku ini menguraikan pengembangan dan penerapan teknologi membran osmosis maju (*forward osmosis*, FO) yang menggunakan kitosan yang dimodifikasi dengan pati *janeng* (*Dioscorea hispida*) sebagai bahan dasar. Teknologi ini dikembangkan untuk menyediakan solusi air minum yang aman dan praktis dalam situasi darurat, seperti bencana alam atau krisis air, ketika akses terhadap air bersih terbatas. Membran FO yang dihasilkan dari kombinasi kitosan dan pati *janeng* memiliki kinerja unggul dalam menyaring air payau menjadi air minum yang memenuhi standar kualitas air menurut *World Health Organization* (WHO). Keunggulan utama dari membran ini terletak pada efisiensi energinya dan ketahanannya terhadap *fouling*, menjadikannya pilihan yang lebih hemat energi dibandingkan teknologi pemurnian air lainnya seperti *reverse osmosis* (RO). Aplikasi teknologi ini dalam bentuk kantong air minum telah diuji dengan hasil yang sangat menjanjikan. Kantong air minum yang dibuat dengan membran FO berbasis kitosan/pati *janeng* menunjukkan kemampuan yang efektif dalam menahan garam, logam berat, dan bakteri, dengan fluks air maksimum mencapai 5,75 L/m² jam saat menggunakan sukrosa sebagai larutan penarik. Desain kantong yang ringan dan portabel membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam situasi darurat, ketika akses ke peralatan pemurnian air konvensional tidak memungkinkan. Dengan biaya produksi yang rendah dan ketersediaan bahan baku yang melimpah, teknologi ini menawarkan solusi yang praktis, efisien, dan ramah lingkungan untuk penyediaan air bersih di berbagai kondisi darurat, serta memiliki potensi untuk diaplikasikan secara lebih luas dalam pengolahan air di masa depan.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya esensial yang mendukung berbagai fungsi biologis dalam tubuh manusia, seperti metabolisme, regulasi suhu tubuh, transportasi nutrisi, dan ekskresi limbah. Selain itu, air juga menjadi kebutuhan utama dalam berbagai aktivitas sehari-hari, termasuk pertanian, industri, dan keperluan rumah tangga. Namun, hanya sekitar 1% dari total air di bumi yang dapat langsung digunakan sebagai air minum.

Ketersediaan air bersih terus terancam oleh pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan peningkatan polusi, yang semuanya memperparah masalah akses terhadap air bersih (Khalifa dan Bidaisee 2018; Saiful *et al.* 2022).

Dalam situasi darurat seperti bencana alam, konflik, atau krisis air, akses terhadap air minum yang bersih sering terbatas. Kondisi ini meningkatkan risiko penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare dan kolera. Penyediaan air minum yang aman menjadi prioritas utama, namun metode konvensional, seperti distribusi air botolan atau instalasi sistem pemurnian air sementara, sering tidak mencukupi atau sulit diterapkan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang dapat menyediakan air minum yang aman secara cepat dan praktis dalam berbagai kondisi darurat (Saiful *et al.* 2019; Saiful *et al.* 2020a).

Teknologi membran telah menjadi solusi unggul dalam penyediaan air bersih, karena kemampuannya menyaring kontaminan dari air dan menghasilkan air yang layak konsumsi (Saiful *et al.* 2020b). Di antara berbagai teknologi membran, *forward osmosis* (FO) menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi energi dan kecenderungan *fouling* yang lebih rendah. *Forward osmosis* bekerja berdasarkan gradien osmotik, ketika air secara alami mengalir dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut rendah ke larutan dengan konsentrasi zat terlarut tinggi melalui membran semipermeabel, tanpa memerlukan tekanan eksternal. Hal ini menjadikan FO sebagai teknologi hemat energi yang cocok untuk aplikasi dalam situasi darurat di mana sumber daya mungkin terbatas (Zhao *et al.* 2012).

Kitosan adalah polimer alami yang berasal dari kitosan, dikenal memiliki sifat antibakteri, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas yang baik. Namun, kitosan murni memiliki kekurangan seperti kekakuan dan ketahanan yang rendah terhadap kondisi asam. Modifikasi kitosan dengan pati umbi *janeng* (*Dioscorea hispida*), yang merupakan sumber pati alami yang mudah ditemukan di daerah tropis, dapat meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan mekanik dari membran kitosan. Kombinasi kitosan dan pati *janeng* menghasilkan membran dengan sifat fisik yang lebih baik serta kinerja penyaringan yang lebih efektif, menjadikannya solusi yang ideal untuk aplikasi kantong air minum dalam kondisi darurat.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Membran FO

Membran FO merupakan teknologi yang memanfaatkan membran semipermeabel untuk memisahkan air dari zat terlarut berdasarkan perbedaan tekanan osmotik. Tidak seperti RO yang memerlukan tekanan eksternal tinggi, FO menggunakan gradien osmotik alami sebagai penggerak utama. Teknologi ini lebih hemat energi dan memiliki kecenderungan *fouling* yang lebih rendah, menjadikannya pilihan yang menarik untuk aplikasi dalam situasi darurat, ketika energi dan sumber daya mungkin terbatas.

2.2 Kitosan sebagai Bahan Dasar Membran

Kitosan adalah polimer yang berasal dari kitosan melalui proses deasetilasi. Kitosan memiliki sifat unggul seperti kemampuan untuk berinteraksi dengan berbagai jenis kontaminan, termasuk logam berat dan partikel mikroskopis, serta sifat antibakteri yang efektif dalam mengurangi kontaminasi mikrobiologis dalam air. Namun, kitosan murni memiliki kelemahan, seperti kekakuan yang tinggi dan sensitivitas terhadap pH asam,

yang dapat mengurangi kinerja membran. Untuk mengatasi kekurangan ini, kitosan dapat dimodifikasi melalui penghubungan silang dengan agen kimia seperti glutaraldehida, atau dengan mencampurnya dengan polimer lain seperti pati, untuk meningkatkan fleksibilitas, stabilitas mekanik, dan ketahanan kimia dari membran yang dihasilkan.

2.3 Pati *Janeng* sebagai Bahan Pendukung

Pati yang diekstraksi dari umbi *janeng* merupakan bahan alami yang melimpah dan mudah didapatkan, terutama di daerah tropis. Pati ini memiliki kandungan amilosa dan amilopektin yang tinggi, yang memberikan sifat gelatinisasi dan kemampuan pembentukan film yang baik. Dalam pembuatan membran, pati *Janeng* berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan mekanik dari membran kitosan, sekaligus meningkatkan ketahanannya terhadap pengaruh lingkungan seperti pH dan suhu. Sifat hidrofilik dari pati *janeng* juga membantu meningkatkan permeabilitas air melalui membran, sehingga meningkatkan fluks air dalam proses FO.

2.4 Proses Pembuatan Membran Kitosan/Pati *Janeng*

Proses pembuatan membran FO dari kitosan dan pati *janeng* melibatkan beberapa tahap. Pertama, kitosan dilarutkan dalam asam asetat untuk membentuk larutan kitosan, sementara pati *janeng* disiapkan melalui proses gelatinisasi untuk membentuk pasta pati yang homogen. Larutan kitosan kemudian dicampur dengan pasta pati pada suhu tertentu untuk memastikan pencampuran yang merata. Glutaraldehida ditambahkan sebagai agen penghubung silang untuk meningkatkan stabilitas mekanik membran, sementara gliserol ditambahkan sebagai *plastisizer* untuk mengatasi sifat kekakuan dari kitosan. Campuran ini kemudian dicetak dan dikeringkan untuk membentuk lembaran membran, yang kemudian dicuci untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia dan dikeringkan sebelum digunakan dalam aplikasi FO.

2.5 Desain dan Aplikasi Kantong Air Minum FO

Membran kitosan/pati *Janeng* yang telah disiapkan kemudian diaplikasikan dalam pembuatan kantong air minum. Kantong ini dirancang menggunakan tiga lapisan utama yakni plastik *polipropilena* (PP) sebagai lapisan luar, aluminium *foil* sebagai lapisan dalam, dan membran FO di bagian tengah. Kantong ini dirancang agar mudah digunakan dalam situasi darurat, dengan kapasitas total sekitar 400 ml dan luas permukaan efektif membran sebesar 41,25 cm². Desain ini memastikan bahwa kantong air minum dapat digunakan secara praktis dan efisien, dengan hasil air yang memenuhi standar kualitas WHO.

III. HASIL /TEMUAN

3.1 Ekstraksi Pati Berbasis *Janeng*

Proses ekstraksi pati dari umbi *janeng* dimulai dengan pengolahan awal yang melibatkan pengupasan dan pencucian umbi menggunakan air suling. Umbi kemudian dipotong menjadi bagian kecil dan direndam dalam larutan natrium bisulfit untuk mencegah oksidasi dan penggelapan pati selama proses. Natrium bisulfit juga berperan penting dalam mencegah pertumbuhan mikroba yang dapat merusak kualitas pati yang dihasilkan. Setelah perendaman, umbi dihancurkan menjadi bubur yang kemudian diperas untuk memisahkan pati dari sisa-sisa serat dan kontaminan lainnya.

Proses pencucian dilakukan secara berulang untuk memastikan bahwa racun sianida, yang terkandung dalam umbi dalam bentuk hidrogen sianida (HCN), dapat sepenuhnya dihilangkan. Menurut literatur, kandungan sianida pada umbi *janeng* dapat mencapai 700 mg/kg, yang berpotensi berbahaya jika tidak dihilangkan dengan baik. Keberhasilan dalam menghilangkan racun sianida ditandai dengan tidak adanya perubahan warna pada larutan setelah penambahan nitrat perak 1 M, menunjukkan bahwa racun telah sepenuhnya dihilangkan. Setelah pencucian, endapan pati dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama 24 jam, kemudian diayak dengan menggunakan ayakan 100 *mesh* untuk mendapatkan tepung pati yang halus. Hasil akhirnya, pati kering yang diperoleh memiliki rendemen sekitar 7%, yang cukup memadai untuk digunakan dalam pembuatan membran.

3.2. Pembuatan Membran FO

Membran FO disiapkan menggunakan campuran kitosan dan pati *janeng* yang telah diekstraksi seperti yang disajikan pada Gambar 1. Proses pembuatan membran dimulai dengan melarutkan kitosan dalam larutan asam asetat 1% (v/v) untuk membentuk larutan kitosan. Sementara itu, pati yang telah diekstraksi diolah melalui proses gelatinisasi, di mana tepung pati dicampur dengan air dan dipanaskan pada suhu 75-80 °C untuk membentuk pasta yang homogen. Proses gelatinisasi ini penting karena menyebabkan kristal granula pati menyerap air, membengkak, dan pecah, yang meningkatkan kemampuan pati untuk berinteraksi dengan kitosan.

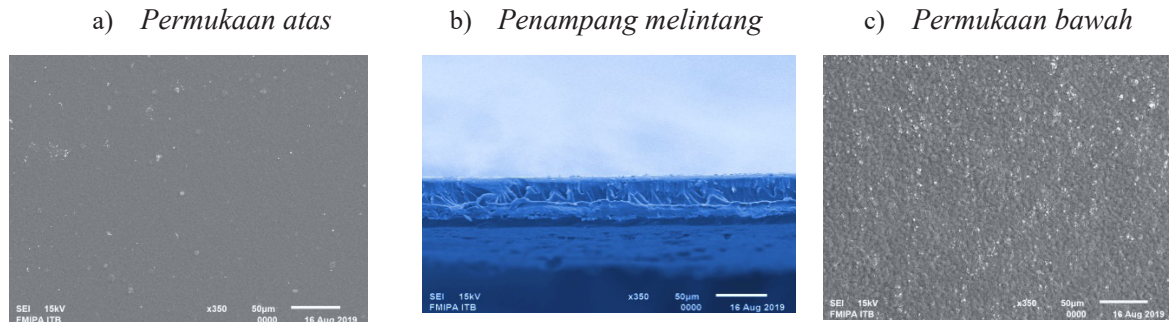
Setelah kedua komponen siap, larutan kitosan dicampur dengan pasta pati, dan campuran ini diaduk secara intensif pada suhu 75-80 °C selama sekitar 10 menit untuk memastikan pencampuran yang merata. Glutaraldehyd kemudian ditambahkan sebagai agen penghubung silang, dengan konsentrasi optimal sebesar $5,6 \times 10^{-5}$ mol. Penambahan glutaraldehyd bertujuan untuk memperkuat ikatan antara molekul kitosan dan pati, meningkatkan stabilitas mekanik dan ketahanan kimia dari membran yang dihasilkan. Namun, penambahan glutaraldehyd yang berlebihan dapat menyebabkan pembentukan agregat yang mengurangi homogenitas campuran, oleh karena itu konsentrasi harus dikontrol dengan tepat.

Selain itu, gliserol ditambahkan sebagai *plastisizer* untuk mengatasi sifat kekakuan alami kitosan, memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi pada membran. Campuran ini kemudian dicetak pada pelat keramik dan dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar 30 °C untuk membentuk lembaran membran. Setelah kering, membran diambil dari cetakan, dicuci dengan larutan NaOH 1% (w/v) untuk menetralkan sisa asam, dan dibilas dengan air suling sebelum dikeringkan kembali pada suhu kamar. Membran yang dihasilkan memiliki ketebalan 0,035 mm, porositas 54,36%, kekuatan tarik 87,63 kgf/mm², dan perpanjangan 16,08%, yang menunjukkan sifat mekanik yang baik serta kemampuan untuk menahan tekanan osmotik dalam aplikasi FO.

3.3. Karakterisasi Membran Kitosan-Pati

Karakterisasi membran FO yang dihasilkan menunjukkan bahwa membran memiliki struktur asimetris, dengan lapisan atas yang lebih tipis dan padat, sementara lapisan bawah lebih tebal dan berpori. Tidak adanya makrovoid dalam struktur membran menunjukkan stabilitas interkoneksi yang baik antar komponen, yang penting untuk kinerja mekanik dan ketahanan terhadap tekanan osmotik. Studi permukaan menggunakan mikroskop elektron menunjukkan bahwa membran memiliki struktur berpori dengan pori-pori yang seragam, yang mendukung aliran air yang baik melalui membran. Struktur berpori padat ini juga membantu dalam menahan partikel-partikel besar seperti bakteri dan garam terlarut, sementara tetap memungkinkan air untuk melewati

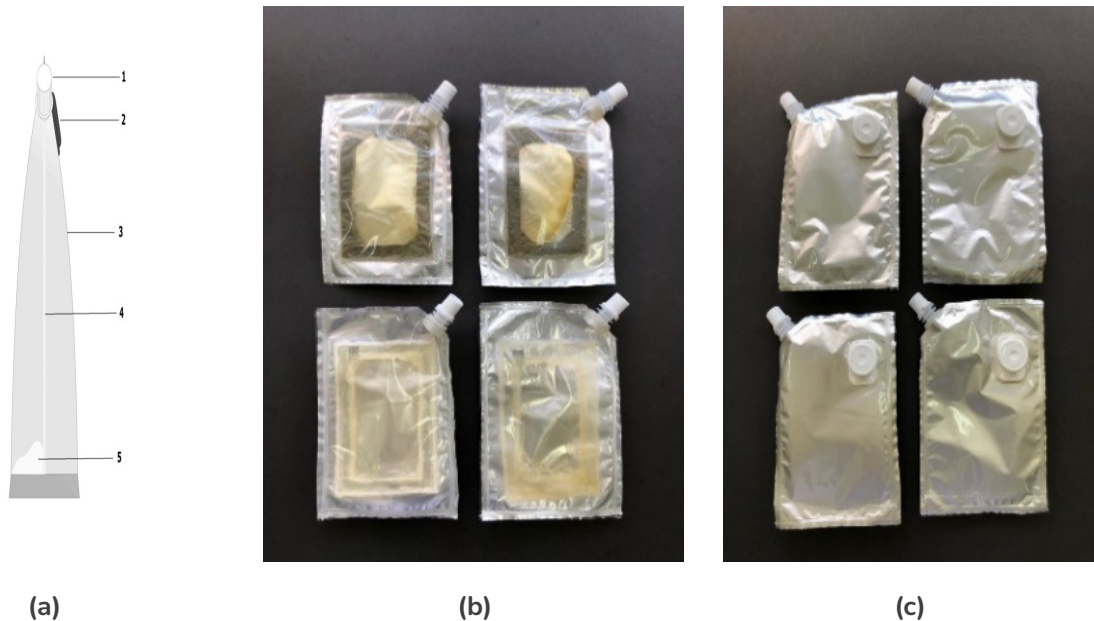
membran. Sifat permukaan membran juga menunjukkan bahwa adanya modifikasi dengan glutaraldehid dan penambahan pati Janeng memberikan kekuatan dan fleksibilitas tambahan yang diperlukan untuk aplikasi dalam kantong air minum.



Gambar 1. Gambar SEM (pembesaran 350x) dari struktur dan morfologi membran kitosan/pati yang terikat silang yang dibuat dengan komposisi 3% kitosan, 1,5% pati D. hispida, $5,6 \times 10^{-5}$ mol glutaraldehid, dan 0,4% gliserol

3.4. Kantong Air Minum FO

Kantong air minum FO dikembangkan dengan menggabungkan membran kitosan/pati yang dihasilkan dengan lapisan PP dan aluminium foil. Kantong ini dirancang dengan mempertimbangkan kepraktisan dan efektivitas dalam situasi darurat, ketika akses ke air bersih sering kali terbatas. Kantong ini terdiri atas tiga lapisan utama yakni plastik PP sebagai lapisan atas dan bawah, aluminium foil sebagai lapisan tengah, dan membran FO yang ditempatkan di antara lapisan tersebut.



Gambar 2. Kantong air minum yang terbuat dari kombinasi aluminium foil dan plastik PP dengan filter membran kitosan/pati di dalamnya: (a) desain kantong air (1 = tutup di depan kantong, 2 = tutup di belakang kantong, 3 = plastik polipropilen, 4 = membran kitosan-pati, 5 = larutan pengambil), dengan foto (b) sisi depan dan (c) sisi belakang dari kantong (Saiful *et al.* 2020c)

Plastik PP memberikan kekuatan struktural dan ketahanan terhadap tekanan mekanik, sementara aluminium foil berfungsi sebagai penghalang untuk mencegah kontaminasi dari luar dan menjaga integritas kantong selama digunakan. Membran FO yang dimodifikasi dengan kitosan dan pati *janeng* ditempelkan pada bagian dalam plastik PP menggunakan perekat khusus yang tahan air, memastikan bahwa air yang melewati kantong hanya dapat keluar melalui membran, bukan melalui kebocoran di sisi-sisinya seperti yang disajikan pada Gambar 2.

Desain kantong ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam situasi darurat. Ukurannya yang kompak dan ringan memungkinkan kantong air ini mudah dibawa dan digunakan di lapangan. Dengan kapasitas total sekitar 400 ml dan luas permukaan efektif kontak membran sebesar 41,25 cm². Kantong ini dapat digunakan untuk menyaring air dalam jumlah yang cukup untuk kebutuhan mendesak. Kantong air ini juga dirancang untuk sekali pakai, yang berarti tidak ada risiko kontaminasi silang antara penggunaan yang satu dengan yang lain.

3.5. Proses Osmosis Maju dalam Pengujian Kantong Air Minum

Pengujian FO dilakukan dengan menggunakan kantong air minum yang telah dikembangkan, diisi dengan larutan umpan air payau atau air bendungan, serta larutan penarik (DS) yang terdiri dari fruktosa, sukrosa, atau campuran keduanya. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kinerja membran dalam menyaring air dan menghasilkan air minum yang aman.

Fluks air maksimum dicapai dengan menggunakan sukrosa 3 M sebagai larutan penarik, yaitu sebesar 5,75 L/m²jam, yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluks air yang dihasilkan oleh membran kitosan tanpa modifikasi. Penghubungan silang dengan glutaraldehida terbukti meningkatkan kinerja membran, yang terlihat dari fluks air yang lebih baik dan penolakan ion yang mendekati 100%. Penggunaan sukrosa sebagai DS menghasilkan fluks air yang lebih tinggi dibandingkan fruktosa atau campurannya, yang disebabkan oleh tekanan osmotik yang lebih tinggi dari sukrosa.

Selain itu, pengujian juga dilakukan dengan air bendungan yang memiliki karakteristik kimia berbeda dibandingkan air payau. Meskipun demikian, membran kitosan/pati tetap mampu menghasilkan fluks air yang memadai dan menahan kontaminan dalam larutan umpan dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa kantong air minum berbasis membran FO dapat digunakan secara efektif dalam berbagai kondisi air umpan yang berbeda, menjadikannya pilihan yang fleksibel dan andal untuk situasi darurat.

3.6. Kualitas Air Osmosis Maju

3.6.1 Sifat Fisiko Kimia Air

Air yang dihasilkan dari proses FO dievaluasi berdasarkan parameter fisikokimia, termasuk pH, salinitas, konduktivitas, dan total padatan terlarut (TDS). Nilai pH air yang dihasilkan berkisar antara 7,6 -7,45, yang tetap berada dalam kisaran yang aman menurut standar WHO (pH 6,5–8,5). Konsistensi nilai pH ini menunjukkan bahwa proses FO tidak menyebabkan perubahan signifikan pada keasaman air, menjadikan air yang dihasilkan aman untuk dikonsumsi.

Salinitas air yang dihasilkan berkisar antara 0,1-0,8 ppt, dengan nilai terendah diperoleh saat menggunakan sukrosa 3 M sebagai DS. Salinitas yang rendah ini menunjukkan bahwa membran FO kitosan/pati *janeng* mampu menahan partikel garam dengan sangat baik, yang penting untuk menghasilkan air minum dari sumber air payau atau air laut. Konduktivitas air yang dihasilkan berkisar antara 0,3-1,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yang menunjukkan bahwa membran efektif dalam menahan ion-ion terlarut yang dapat meningkatkan konduktivitas listrik air. Nilai TDS yang dihasilkan juga menunjukkan hasil yang baik, berkisar antara 2-116 mg/l. Nilai ini jauh di bawah batas maksimum TDS yang ditentukan oleh WHO untuk air minum, yaitu 600 mg/l, menunjukkan bahwa air yang dihasilkan sangat murni dan aman untuk dikonsumsi.

3.6.2 Kandungan Logam Berat

Pengujian kandungan logam berat dalam air yang dihasilkan dari proses FO menunjukkan bahwa membran kitosan/pati Janeng memiliki kemampuan penolakan logam yang sangat baik. Kandungan logam berat seperti arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), besi (Fe), merkuri (Hg), mangan (Mn), dan seng (Zn) dianalisis menggunakan spektrometer serapan atom (AAS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa logam berat dalam air hasil FO berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh WHO untuk air minum seperti yang disajikan pada Tabel 1. Membran ini menunjukkan faktor penolakan logam berat di atas 90%, yang menandakan kemampuan tinggi dalam menahan ion-ion logam yang berbahaya. Hal ini terutama penting dalam situasi ketika sumber air umpam mungkin terkontaminasi dengan logam berat akibat aktivitas industri atau polusi lingkungan.

Tabel 1. Data hasil pengujian kandungan logam berat

No	Parameter	Kandungan Logam (mg/L)						Baku mutu (mg/l)
		Air payau	Air kotor	Sukrosa	Fruktosa	Campuran	*Sukrosa	
1	Merkuri (Hg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
2	Arsen (As)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,01
3	Seng (Zn)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3
4	Tembaga (Cu)	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	2
5	Kromium (Cr)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,05
6	Besi (Fe)	0,1071	0,0928	0,0634	0,0214	0,0219	0,0570	0,2
7	Kadmium (Cd)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,003

*Sukrosa: Air hasil proses FO dengan larutan umpam berupa air kotor

3.6.3 Sifat Biologis Air

Salah satu aspek penting dari kualitas air adalah keamanan biologisnya, yang dievaluasi melalui pengujian keberadaan bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) dan mikroorganisme patogen lainnya. Bakteri *E. coli* adalah indikator utama kontaminasi fekal dalam air dan merupakan patogen yang dapat menyebabkan penyakit serius jika dikonsumsi.

Pengujian menunjukkan bahwa membran kitosan/pati *janeng* efektif dalam menyaring bakteri *E. coli* dan patogen lainnya. Meskipun larutan umpam yang digunakan dalam pengujian tidak mengandung *E. coli*, membran tetap menunjukkan potensi besar dalam aplikasi penyaringan air yang terkontaminasi mikrobiologis. Selain itu,

kitosan telah dikenal memiliki sifat antibakteri, yang memperkuat kemampuan membran ini untuk mencegah pertumbuhan bakteri di permukaan membran selama proses FO.

3.6.4 Daya Tahan dan Stabilitas Kantong Filter FO

Kantong filter FO yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan terkait daya tahan dan stabilitas, yang penting untuk aplikasi dalam situasi darurat. Uji stabilitas menunjukkan bahwa kantong ini mampu bertahan selama dua minggu tanpa mengalami kebocoran atau perubahan signifikan dalam kualitas air yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa kantong air minum ini dapat disimpan untuk jangka waktu tertentu sebelum digunakan tanpa mengurangi efektivitasnya.

Desain kantong yang kompak dan mudah digunakan juga menambah kepraktisan dalam situasi darurat, ketika waktu dan sumber daya mungkin terbatas. Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah dan proses pembuatan yang sederhana, kantong ini dapat diproduksi secara massal dengan biaya yang relatif rendah, menjadikannya pilihan yang ekonomis dan efisien untuk penyediaan air minum dalam skala besar selama keadaan darurat.

3.6.5 Evaluasi Kinerja Membran dan Prospek Aplikasi

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa membran kitosan/pati *janeng* yang dikembangkan memiliki kinerja yang sangat baik dalam aplikasi FO, terutama dalam konteks penyediaan air minum selama situasi darurat. Membran ini tidak hanya efektif dalam menghasilkan air yang aman dan bersih, tetapi juga memiliki sifat mekanik dan kimia yang mendukung penggunaannya dalam berbagai kondisi lingkungan yang menantang.

Prospek aplikasi teknologi ini sangat luas, mulai dari penggunaannya dalam operasi bantuan kemanusiaan, hingga dalam sistem pemurnian air portabel untuk daerah terpencil atau terisolasi. Dengan modifikasi lebih lanjut dan optimalisasi desain, kantong air minum berbasis membran FO ini dapat menjadi solusi andalan untuk tantangan global dalam penyediaan air bersih dan aman di masa depan.

3.7 Implikasi Teknologi Membran FO dalam Situasi Darurat

Penerapan teknologi membran FO berbasis kitosan dan pati *janeng* memiliki potensi besar dalam konteks penanganan krisis air, terutama dalam situasi darurat. Membran ini dirancang untuk digunakan dalam kantong air minum yang dapat dengan mudah dibawa dan digunakan oleh individu yang membutuhkan air bersih di lokasi yang terisolasi atau sulit dijangkau. Teknologi ini memberikan alternatif yang lebih hemat energi dan lebih mudah diterapkan dibandingkan teknologi RO yang memerlukan peralatan yang lebih kompleks dan sumber daya energi yang lebih besar.

Selain itu, karena kantong air minum ini dapat diproduksi dengan biaya yang relatif rendah, teknologi ini dapat diimplementasikan dalam skala besar untuk mendukung operasi bantuan kemanusiaan. Ketersediaan bahan baku lokal seperti kitosan dan pati *janeng* juga memberikan keuntungan tambahan dalam hal keberlanjutan dan kemandirian produksi.

3.8 Keunggulan dan Tantangan Teknologi Membran FO

Teknologi membran FO memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya menonjol dalam aplikasi pemurnian air, terutama dalam keadaan darurat. Di antara keunggulan utamanya adalah:

Efisiensi energi: Tidak memerlukan tekanan eksternal yang tinggi, sehingga mengurangi konsumsi energi dibandingkan dengan teknologi membran lainnya seperti RO.

Kecenderungan *fouling* yang lebih rendah: Struktur membran dan mekanisme operasional FO cenderung mengalami *fouling* yang lebih sedikit, yang berarti biaya perawatan dan operasi bisa lebih rendah.

Fleksibilitas material: Penggunaan kitosan dan pati *janeng* memungkinkan modifikasi sifat membran untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, seperti peningkatan fleksibilitas atau kekuatan mekanik.

3.8 Potensi Pengembangan dan Aplikasi di Masa Depan

Teknologi FO yang menggunakan membran kitosan/pati Janeng memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dan diterapkan dalam berbagai konteks. Misalnya, selain untuk keperluan darurat, teknologi ini dapat diadaptasi untuk penggunaan dalam rumah tangga, terutama di daerah dengan akses air bersih yang terbatas. Teknologi ini juga memiliki potensi untuk digunakan dalam pengolahan air limbah, di mana kemampuannya untuk menahan kontaminan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan air bersih dari sumber air yang terkontaminasi.

Selain itu, dengan meningkatnya kesadaran global tentang keberlanjutan dan perlindungan lingkungan, teknologi ini dapat dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan untuk metode pemurnian air yang lebih intensif energi dan sumber daya. Penelitian lebih lanjut dalam pengembangan material, optimasi proses, dan adaptasi teknologi ini dalam berbagai kondisi akan membuka peluang baru untuk penerapannya di masa depan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian yang dijelaskan dalam buku ini berhasil mengembangkan dan menguji membran FO berbahan dasar kitosan termodifikasi dengan pati umbi *janeng*. Inovasi ini bertujuan menyediakan solusi praktis dalam penyediaan air minum yang aman selama keadaan darurat, seperti bencana alam atau krisis air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran yang dihasilkan memiliki sifat fisik yang kuat, kinerja penyaringan yang unggul, dan kemampuan untuk menghasilkan air yang memenuhi standar kualitas air minum WHO.

Membran kitosan/pati *janeng* yang dikembangkan menunjukkan ketahanan mekanik dan kimia yang baik, dengan fluks air maksimum mencapai 5,75 L/m² jam saat menggunakan sukrosa 3 M sebagai larutan penarik. Selain itu, membran ini mampu menahan garam, logam berat, dan bakteri, dengan faktor penolakan di atas 90%. Uji kualitas air menunjukkan bahwa air yang dihasilkan memiliki pH, salinitas, konduktivitas, dan TDS yang berada dalam batas yang dapat diterima menurut standar WHO.

DAFTAR PUSTAKA

- Khalifa M, Bidaisee S. 2018. The importance of clean water. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 8(5):6780-6783.
- Saiful S, Afriyanti A, Marlina, Ramli M, Masykur A. 2020. Forward osmosis membrane to produce water energy drink from seawater. *AIP Conference Proceedings*, 2237(1):020039.

- Saiful S, Rahmah Z, Ajrina M, Marlina, Rahmi. 2020. Chitosan-Starch forward osmosis membrane for desalination of brackish water. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(4): 2062-2073|
- Saiful, Riana U, Marlina, Ramli M, Mahmud N. 2019. Drinking water bags based on chitosan forward osmosis membranes for emergency drinking water supply. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 273:012047.
- Saiful S, Ajrina M, Wibisono Y, Marlina M. 2020. Development of chitosan/starch-based forward osmosis water filtration bags for emergency water supply. *Membranes*, 10(12):414
- Saiful J, Hasima S, Kamila N, Rahmi. 2022. Cellulose acetate from palm oil bunch waste for forward osmosis membrane in desalination of brackish water. *Results in Engineering*, 15:100611.
- Zhao S, Zou L, Tang CY, Mulcahy D. 2012. Recent developments in forward osmosis: Opportunities and challenges. *Journal of Membrane Science*, 396:1-21.

BETON RINGAN UNTUK KONSTRUKSI PINTU AIR TAMBAK

Izarul Machdar¹, Abdullah², Wahyu Rinaldi¹, Maimun Rizalihadi², Sofyan³

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

³Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: machdar@usk.ac.id

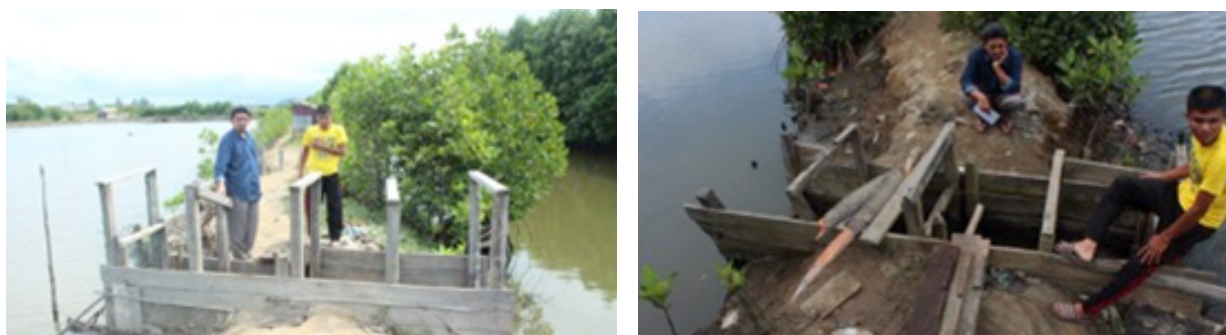
RINGKASAN

Beton ringan merupakan inovasi dalam industri konstruksi yang menggunakan campuran semen, air, dan *foam*. Penerapan teknologi beton ringan dalam pembuatan pintu air tambak memberikan banyak manfaat bagi pengelolaan budidaya ikan dan udang, khususnya petani tambak tradisional di daerah Aceh. Pintu air, yang dalam bahasa lokal disebut *pata*, berperan penting dalam mengatur aliran masuk dan keluarnya air ke dalam tambak, menjaga kualitas air, serta sebagai alur masuknya pasokan secara alami benih ikan dan udang dari alur sungai. Umumnya, pintu air terbuat dari kayu atau pohon kelapa, namun material ini seringkali mengalami masalah seperti mudah rusak, sulit perawatan, dan biaya tinggi untuk bahan kayu berkualitas. Inovasi pembuatan pintu air tambak dari beton ringan telah diimplementasikan di Dusun Krueng Cut, Gampong Baet, Kecamatan Baitussalam, yang proses pembuatan dan pemasangan pintu air beton ringan dilakukan secara langsung. Proses ini melibatkan pembuatan cetakan sesuai ukuran desain yang dilengkapi dengan tulangan dari besi ukuran 8 mm untuk modul balok dan *wire-mesh* untuk modul papan. Tahapan instalasi meliputi penempatan modul beton ringan di lokasi yang ditentukan, penggabungan modul-modul tersebut, dan pengujian kekuatan serta ketahanan pintu air terhadap aliran air. Penggunaan beton ringan sebagai material utama pintu air memberikan alternatif yang lebih tahan lama, mudah dalam proses perawatan, serta lebih hemat biaya. Hasil temuan di Dusun Baet menunjukkan bahwa pintu air beton ringan ini mampu menahan tekanan air serta kondisi lingkungan yang berubah-ubah dengan baik. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan tambak, tetapi juga mendukung upaya keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi penggunaan kayu dan material yang kurang ramah lingkungan. Dengan demikian, teknologi beton ringan menjadi solusi ideal bagi petani tambak dalam menghadapi tantangan pengelolaan air di tambak tradisional.

PENDAHULUAN

Pintu air, yang dikenal dengan istilah *pata* di kalangan petani tambak di Aceh, merupakan komponen esensial

dalam pengelolaan air untuk budidaya ikan dan udang. *Pata* telah digunakan sejak lama secara turun-temurun di kalangan petambak tradisional. Pintu air ini berfungsi untuk pengaturan aliran masuk dan keluar air dari dan ke dalam tambak, menjaga kualitas air, serta sebagai alur masuknya pasokan benih ikan dan udang secara alami dari alur sungai. Dengan mengatur ketinggian pintu *pata*, maka laju alir sungai yang masuk ke tambak yang membawa benih dapat terjaga (pada kondisi pasang) dan tidak ada benih yang keluar dari tambak (pada kondisi air surut). Contoh pintu air tradisional yang sering digunakan oleh petani tambak di Aceh disajikan pada Gambar 1. Namun demikian, tantangan yang dihadapi oleh petani tambak di Aceh adalah ketergantungan pada pintu air konvensional yang umumnya terbuat dari kayu atau pohon kelapa. Pintu air yang terbuat dari bahan ini kerap kali mengalami masalah, seperti mudah rusak dan rapuh akibat paparan air asin, sehingga mengurangi usia pakainya. Kayu yang sering digunakan memiliki kecenderungan untuk lapuk, bocor, dan patah. Selain itu, ketersediaan bahan baku kayu yang baik semakin sulit ditemukan dan mahal.



Gambar 1. Contoh pintu air tambak tradisional di Aceh

Di tengah kesulitan ini, biaya yang harus dikeluarkan petani tambak untuk mempertahankan atau mengganti pintu air dengan bahan berkualitas tinggi menjadi beban yang signifikan. Oleh karena itu, muncul kebutuhan mendesak untuk suatu inovasi yang dapat diintervensi untuk menggantikan pintu air kayu konvensional dengan material yang lebih berkelanjutan dengan masa pakai yang lebih lama. Inovasi ini harus memenuhi kriteria mudah dalam pembuatan dan pemasangan, relatif lebih murah, serta memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap lingkungan air asin dan kondisi cuaca.

Penggunaan material yang lebih modern, seperti beton ringan, menawarkan solusi potensial untuk mengatasi tantangan ini. Material ini tidak hanya lebih tahan terhadap air dan cuaca, tetapi juga lebih mudah dirawat dan memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu. Beton ringan, misalnya, memiliki keunggulan berupa berat yang lebih ringan dan daya tahan yang baik, sehingga memudahkan proses pemasangan dan penggantian (Haque *et al.* 2004). Selain itu, penggunaan beton ringan atau material alternatif lain dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Napolano *et al.*, 2016), mengingat pengurangan penggunaan kayu akan mendukung pelestarian hutan dan ekosistem.

Pintu air yang terbuat dari beton ringan menawarkan berbagai keunggulan, termasuk kemudahan pemasangan, daya tahan yang lebih baik terhadap korosi, dan pengurangan biaya konstruksi serta perawatan. Dengan mengadopsi material yang lebih modern dan efisien, petani tambak dapat meningkatkan produktivitas

tambaknya, mengurangi biaya operasional, dan mendukung upaya konservasi lingkungan. Selain itu, inovasi ini juga dapat membuka peluang bagi pengembangan teknologi dan peningkatan keterampilan dalam industri tambak, sehingga memberikan dampak positif bagi perekonomian lokal.

Inovasi dalam pembuatan pintu air tambak dengan menggunakan material beton ringan menawarkan berbagai manfaat yang signifikan bagi petani tambak di Aceh dan wilayah lain yang menghadapi tantangan serupa. Salah satu manfaat utama adalah kemudahan instalasi dan tahan lama yang pada akhirnya akan meningkatkan peningkatan efisiensi operasional dalam budidaya ikan dan udang. Pintu air tambak yang terbuat dari beton ringan cenderung lebih tahan terhadap korosi dan kerusakan akibat cuaca ekstrem, sehingga mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian. Dengan demikian, petani tambak dapat mengalokasikan sumber daya mereka dengan lebih efektif, mengurangi biaya operasional, dan fokus pada peningkatan produktivitas tambak. Selain itu, penggunaan material yang lebih tahan lama dan mudah dirawat ini akan mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk perawatan pintu air. Pemasangan dan penggantian pintu air yang lebih mudah juga memungkinkan petani tambak untuk merespons perubahan kondisi lingkungan dengan lebih cepat, seperti penyesuaian tinggi air selama musim hujan atau kemarau. Hal ini sangat penting dalam menjaga kualitas air tambak yang optimal dan mencegah kerusakan pada ekosistem tambak.

Dari sisi lingkungan, inovasi ini juga berkontribusi pada upaya pelestarian hutan dan pengurangan dampak negatif terhadap ekosistem. Dengan mengurangi ketergantungan pada kayu sebagai bahan utama, tekanan terhadap sumber daya hutan dapat diminimalkan, yang pada akhirnya membantu melestarikan biodiversitas dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Manfaat lainnya adalah peningkatan keselamatan dan kualitas hidup petani tambak. Dengan pintu air yang lebih andal dan tahan lama, risiko kerusakan dan bencana terkait air seperti banjir atau kebocoran dapat dikurangi secara signifikan. Petani tambak dapat bekerja dalam kondisi yang lebih aman dan nyaman, yang berpotensi meningkatkan produktivitas dan kesejahteraannya secara keseluruhan.

KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Beton Ringan dan Pembuatannya

Beton ringan adalah material konstruksi yang dirancang untuk mengatasi berbagai tantangan dalam industri konstruksi. Dengan menggunakan agregat ringan seperti tanah liat, serpihan, atau pecahan batu ringan, beton ini memberikan alternatif yang lebih ringan dibandingkan beton normal yang menggunakan agregat berat seperti pecahan batu atau kerikil. Densitas beton ringan jauh lebih rendah dibandingkan densitas beton normal yang berada di kisaran 2.400-2.800 kg/m³ (Newman dan Owens, 2003). Karakteristik ini membuat beton ringan sangat cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam dinding rumah ramah gempa, lapisan tahan api, dan insulasi, serta dalam konteks yang lebih khusus seperti pembuatan pintu air tambak.

Proses pembuatan beton ringan melibatkan beberapa tahapan penting yang memastikan beton memiliki densitas rendah namun tetap memiliki kekuatan yang memadai. Beton ringan, khususnya beton busa (*foam concrete*), dibuat dari campuran semen, air, dan busa (*foam*) yang dihasilkan melalui penggunaan bahan penghasil busa (*foam agent*) dan alat pembuat busa (*foam generator*) (Kan and Demirboğa 2009).

Bahan-bahan dasar berton ringan adalah semen, air, dan *foam agent*. Semen yang digunakan adalah semen Portland, yang merupakan jenis semen umum dalam konstruksi. Semen ini bertindak sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Air yang digunakan dalam campuran harus bersih dan bebas dari bahan kimia atau kotoran yang dapat mempengaruhi kualitas beton. *Foam agent* adalah bahan kimia yang, ketika dicampur dengan air dan diproses melalui *foam generator*, menghasilkan busa stabil yang berfungsi sebagai agregat ringan dalam campuran beton. *Foam agent* yang digunakan adalah hasil pengembangan oleh Prof. Dr. Ir. Izarul Machdar, M. Eng. yang diberi nama “FoaMac” seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Foam agent* sebagai bahan dasar pembuatan beton ringan (Produk Inovasi dari Prof. Dr. Ir. Izarul Machdar, M. Eng. dari Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala)

Untuk menghasilkan busa, *foam agent* dicampur dengan air dalam perbandingan tertentu, kemudian dipompa melalui *foam generator* yang menghasilkan busa dengan struktur seluler stabil. Busa ini memiliki peran krusial dalam memberikan karakteristik ringan pada beton. Campuran semen dan air disiapkan dalam wadah pencampur beton. Busa yang dihasilkan dari *foam generator* kemudian ditambahkan ke dalam campuran semen dan air tersebut. Proses pencampuran harus dilakukan secara hati-hati untuk memastikan busa terdistribusi secara merata dalam seluruh campuran. Campuran yang homogen sangat penting untuk mendapatkan sifat beton yang konsisten. Perbandingan yang tepat antara semen, air, dan busa adalah kunci untuk menghasilkan beton ringan dengan densitas rendah tetapi memiliki kekuatan yang cukup. Campuran beton busa dituangkan ke dalam cetakan atau bekisting yang telah disiapkan. Karena sifatnya yang cair, beton busa tidak memerlukan pemadatan seperti beton konvensional. Busa akan mempertahankan bentuk campuran selama proses pengerasan.

Beton busa yang telah dituangkan perlu dibiarkan selama beberapa jam hingga mengeras. Tahap akhir dilakukan proses pengawetan (*curing*) untuk memastikan kekuatan beton berkembang sesuai dengan yang diharapkan. Pengeringan ini dilakukan dengan menjaga kelembaban beton selama periode waktu 28 hari dengan perendaman dalam air untuk mencegah retak-retak dan menjaga integritas struktur selulernya. Tahapan proses produksi beton ringan disajikan pada Gambar 3.

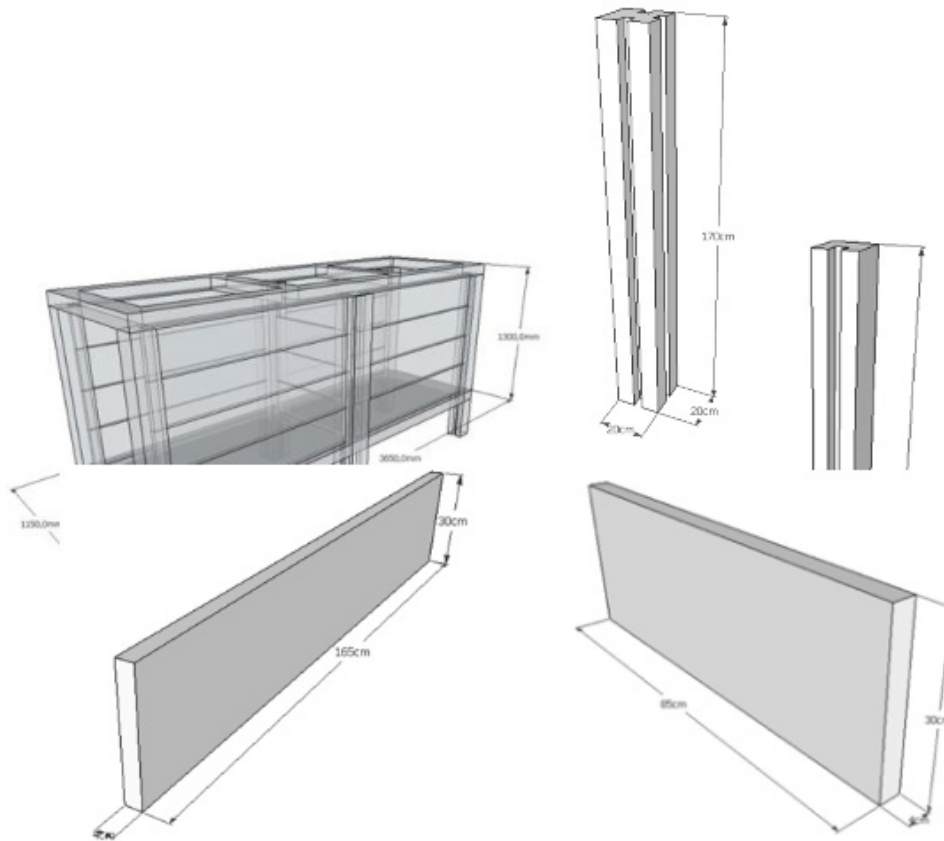


Gambar 3. Tahapan produksi beton ringan

2.2 Konsep Desain

Proses pembuatan pintu air tambak dengan beton ringan dimulai dari pembuatan cetakan berdasarkan ukuran desain. Setiap cetakan dirancang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa pintu air dapat dipasang dan berfungsi dengan baik di lokasi tambak. Desain cetakan mencakup ukuran, bentuk, dan fitur-fitur yang diperlukan untuk memastikan pemasangan yang sempurna dan kinerja optimal. Desain ini dikembangkan berdasarkan studi lapangan. Untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton ringan, cetakan dilengkapi dengan tulangan. Tulangan berfungsi sebagai penguat beton, memastikan bahwa struktur yang dihasilkan mampu menahan tekanan air dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Penggunaan tulangan ini juga membantu mencegah keretakan dan deformasi pada beton, sehingga memperpanjang umur pintu air. Pada modul balok, tulangan terbuat dari besi dengan ukuran 8 mm. Untuk modul papan, tulangan yang digunakan adalah *wire-mesh*. *Wire-mesh* dipilih karena fleksibilitasnya dan kekuatannya yang tinggi. Penggunaan *wire-mesh* memungkinkan distribusi kekuatan yang lebih merata pada modul papan, sehingga modul ini dapat

menahan tekanan lateral dan vertikal dengan lebih baik. *Wire-mesh* dipasang dengan cara dijalin pada posisi yang ditentukan dalam cetakan, memastikan integritas struktural yang optimal. Setelah cetakan dan tulangan siap, tahap berikutnya adalah pengecoran beton ringan. Campuran beton dituangkan ke dalam cetakan secara perlahan dan merata. Desain komponen-komponen cetakan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain komponen-komponen pintu air tambak (Machdar 2017)

HASIL/TEMUAN

Implementasi beton ringan sebagai material konstruksi pintu air tambak telah berhasil diterapkan di Dusun Krueng Cut, Gampong Baet, Kecamatan Baitussalam. Proses pengembangan dan instalasi ini melibatkan beberapa tahapan penting, yang masing-masing memberikan kontribusi signifikan. Berikut ini disampaikan tahapan pembuatan beton ringan dan tahapan instalasi pintu air tambak

3.1 Tahapan Pembuatan Beton Ringan

Pembuatan beton ringan dimulai dengan persiapan material utama yang meliputi semen, air, dan *foam agent*. Komposisi beton ringan ditentukan melalui rasio yang tepat antara semen, air, dan foam. Proporsi ini dikalkulasi untuk menghasilkan densitas rendah namun dengan kekuatan struktural yang cukup untuk menahan tekanan air tambak. Bahan-bahan dicampur dalam pengaduk semen (*moolen*). Pertama, semen dan air diaduk hingga

homogen. Selanjutnya, *foam* yang dihasilkan oleh *foam generator* ditambahkan ke dalam campuran tersebut secara perlahan. Campuran tersebut diaduk hingga merata untuk memastikan distribusi *foam* yang konsisten, menghasilkan struktur seluler yang diinginkan dalam beton ringan. Selanjutnya, campuran beton ringan dituangkan ke dalam cetakan yang sudah disiapkan sesuai dengan desain pintu air. Cetakan ini dirancang untuk memfasilitasi pemasangan engsel dan mekanisme kontrol air. Beton ringan dibiarkan mengering dan mengalami proses *curing* (direndam dalam air) selama 28 hari untuk mencapai kekuatan maksimal. Dokumentasi tahapan pembuatan disajikan pada Gambar 5.

3.2 Tahapan Instalasi Pintu Air Tambak

Setelah proses pembuatan selesai, tahapan instalasi pintu air dilakukan di lokasi tambak. Area di sekitar pintu air lama terlebih dahulu dibersihkan. Lubang atau pondasi sederhana yang terbuat dari beton konvensional disiapkan untuk menopang pintu air yang baru. Dengan menggunakan alat pengangkat sederhana, pintu air beton ringan dipindahkan dari tempat pembuatannya ke lokasi instalasi di tambak. Pintu air ditempatkan pada posisi yang telah ditentukan. Mekanisme kontrol air dipasang dan disesuaikan untuk memastikan pintu dapat diangkat dengan mudah untuk mengontrol aliran air. Setelah pemasangan, pintu air diuji untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik. Pengujian ini mencakup pengangkatan dan penutupan pintu secara berulang, serta mengevaluasi kekuatan pintu dalam menahan tekanan air yang masuk. Observasi lapangan, pintu air yang didesain dapat menahan tekanan air masuk pada kondisi air pasang. Dokumentasi tahapan instalasi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Proses pembuatan pintu air tambak dari beton ringan



Gambar 6. Proses instalasi pintu air tambak dari beton ringan

KESIMPULAN

Penggunaan beton ringan sebagai material inovatif untuk pintu air tambak menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya perikanan tambak. Dengan keunggulannya yang meliputi kemudahan pemasangan, ketahanan terhadap korosi, efisiensi biaya, dan dampak positif terhadap lingkungan, inovasi ini layak untuk diterapkan lebih luas di sektor perikanan tambak. Proyek pembuatan dan instalasi pintu air tambak dengan material beton ringan di Dusun Krueng Cut, Gampong Baet, Kecamatan Baitussalam telah membuktikan, bahwa solusi konstruksi pintu air tambak yang lebih tahan lama dan efisien dibandingkan metode konvensional. Dengan proses pembuatan dan instalasi yang terstruktur, pintu air ini tidak hanya meningkatkan pengelolaan tambak tetapi juga mengurangi biaya perawatan jangka panjang bagi para petani tambak. Temuan ini membuka peluang bagi inovasi serupa di wilayah lain, mendukung praktik budidaya yang lebih berkelanjutan dan menguntungkan. Inovasi ini diharapkan dapat menjadi solusi jangka panjang yang tidak hanya mendukung produktivitas tambak, tetapi juga memperkuat ketahanan ekonomi masyarakat pesisir. Lebih lanjut, pengembangan lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan desain dan aplikasi beton ringan di berbagai kondisi tambak, serta untuk mengeksplorasi potensi penggunaannya di sektor lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Haque MN, Al-Khaiat H, Kayali O. 2004. Strength and durability of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4): 307-314.

- Kan A, Demirboğa R. 2009. A novel material for lightweight concrete production. *Cement and Concrete Composites*, 31(7): 489-495.
- Machdar I, Rizalihadi M, Rinaldi W. 2017. *Intervensi Produk Teknologi Tepat Guna Foam Concrete Pengganti Kayu Konvensional pada Konstruksi Pintu Air Tambak Tradisional untuk Meningkatkan Efisiensi Kolam Tambak Masyarakat*. Program Pengabdian Kepada Masyarakat Berbasis Produk. Universitas Syiah Kuala.
- Napolano L, Menna C, Graziano SF, Asprone D, D'Amore M, de Gennaro R, Dondi M. 2016. Environmental life cycle assessment of lightweight concrete to support recycled materials selection for sustainable design. *Construction and Building Materials*, 119: 370-384.
- Newman J, Owens P. 2003. Properties of lightweight concrete. *Advanced Concrete Technology*, 3:1-29.

MANUFACTURING COMPOSITE BOARDS FROM COCONUT COIR WASTE WITH COPAL GLUE ADHESIVE AND METHYL ETHYL KETONE PEROXIDE CATALYST

Mirna Rahmah Lubis¹, Sri Aprilia¹, Teuku Maimun², Muchlis³

¹Chemical Engineering Department, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Process Technology Laboratory, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

³Mining Engineering Study Program, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Corresponding author: mirna@che.usk.ac.id

SUMMARY

Coconut coir fiber waste has great potential to be used as a new environmentally friendly natural composite reinforcement. Utilizing coconut coir waste into composite material can increase its economic value. This research seeks to evaluate how particle size and the ratio of adhesive to fiber influence the physical and mechanical characteristics of composite boards. During the preparation stage, the coconut coir is soaked in NaOH for 1 hour. Then, it is mixed with copal glue, coconut coir, a coupling agent, and a catalyst, molded to a size of 20 × 20 × 1 cm, and followed by a pressing process. The results of this study produced composite boards that fall into the category of medium-density composite boards and meet the standards set by SNI 01-4449-2006 and JIS A 5908-2003. The modulus of elasticity (MOE) value of the composite boards obtained meets SNI 01-4449-2006. The MOE value of the composite boards obtained meets SNI 01-4449-2006, which is above 5 MPa. However, the MOR value of the composite boards obtained does not meet SNI 01-4449-2006, which is below 800 MPa. The lowest sound absorption value was obtained in the sample at 3.57 dB with coir-to-adhesive ratio of 2:8 and particle size of 60–80 mesh, and the highest sound absorption value was obtained in the sample at 8.72 dB with coir-to-adhesive ratio of 1:9 and particle size of 80 mesh. Based on Differential Scanning Calorimetry testing, two endothermic phase changes were obtained at a temperature of 250 °C, indicating the thermal change process of copal glue. The temperature of 380 °C indicates the carbonization process of coconut coir into charcoal. Based on Simple Additive Weighting method, the best composite sample was at a composition of 90% coconut coir sized 60–80 mesh, 10% copal glue, 6% maleic anhydride, and 1% methyl ethyl ketone peroxide catalyst.

I. INTRODUCTION

The lack of effective noise management by the relevant authorities and the general apathy of society have turned noise pollution in Indonesian urban areas into a significant problem (Mediastika *et al.* 2022). The World Health Organization (WHO) Report on Hearing highlights the urgent need for rehabilitation services for the

approximately 450 million people affected disabling hearing loss (WHO, 2021). Infrastructure innovation to reduce noise is carried out by utilizing natural fibers as environmentally friendly composite materials, such as coconut coir fibers.

Coconut coir fiber is a by-product of the community's consumption of coconuts. Although some husks are utilized for charcoal production or burning, a significant portion is left unused and discarded as waste rather than being converted into valuable products (Stelte *et al.* 2023). The disposal of coconut biomass residues poses a significant environmental issue in many coconut-producing countries, as it releases greenhouse gases and fills up landfills (Ighalo *et al.* 2023).

Coconut fiber has effective sound absorption capabilities at high frequencies. The highest sound absorption coefficient was 0.83 at a frequency of 3651 Hz and a thickness of 20 mm (Jang 2023). It was discovered that the particleboard with a composition of 90% fiber and 10% coconut coir powder yielded the most favorable results (Jarlis 2022). In previous study, basalt fibers are utilized as reinforcement, while methyl ethyl ketone peroxide is used as the curing agent (Prasad *et al.* 2020). According to Verma and Goh (2021), coconut coir fiber is the most promising natural composite material. Currently, there has been no research on making boards from coconut coir fiber with the addition of copal glue-methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO) as a sound and heat damping matrix.

This research modifies composite boards using coconut coir as reinforcement by adding copal glue as a natural binder between the fibers. This study adds MEKPO catalyst, which facilitates the drying process of the composite matrix material. The results of this research are expected to yield an innovative, environmentally friendly coconut coir fiber composite board that can reduce noise and heat levels. To support these goals, composites made from environmentally friendly coconut coir fibers are the best alternative to address these global challenges. Thus, the objective of this study is to evaluate the mechanical, physical, and morphological properties of the composite boards for each ratio of copal glue to coconut coir fiber.

II. INNOVATION CONCEPT/TECHNOLOGY

The innovation concepts of the study are:

1. Utilization of coconut coir waste
This research innovates by using coconut coir waste as a filler material in composite boards, addressing issue of waste management and providing a sustainable alternative.
2. Composite board manufacturing process
The study explores an innovative manufacturing process that combines coconut coir with copal glue and other additives, and involves precise mixing, molding, and pressing techniques to produce composite boards.
3. Incorporation of advanced additives
The use of maleic anhydride (MAH) as a coupling agent and methyl ethyl ketone peroxide as a catalyst represents an advanced approach to enhancing the properties of the composite boards.
4. Comprehensive analysis and testing
The research includes a broad range of tests to evaluate the mechanical and physical characteristics of the composite boards, including water absorption, density, tensile strength, modulus of rupture, thermal behavior, sound absorption, and morphology. Density test measures the mass per unit volume of the

composite board. Water absorption test assesses the board's ability to absorb water which is essential for understanding its durability and resistance to environmental conditions.

Tensile strength test measures the maximum stress that the composite board can withstand while being stretched before failing. Modulus of Rupture (MOR) tests the board's ability to resist breaking under load, providing an indication of its flexural strength. Thermal behavior is evaluated using Differential Scanning Calorimetry (DSC) or similar methods to understand how the composite board reacts to temperature changes. Sound absorption test measures the board's ability to reduce sound transmission. Analyzing the morphology using Scanning Electron Microscopy (SEM) provides detailed images of the board's surface and internal structure at the microscopic level. 5. Optimization through Simple Additive Weighting (SAW).

Using the SAW method for quality ranking of composite boards demonstrates an innovative approach to identifying the best-performing composite based on multiple criteria. The use of the SAW method aims to identify the optimal value for the composite board (Rahmi *et al.* 2018).

III. RESULTS/INNOVATION

The study applied various innovations to create composite boards from coconut coir, copal glue, and other additives. Here is the summary of the results:

1. Composite board production and visual comparison

Nine types of composite boards were produced with different ratios of glue to fiber, particle sizes, and types of fillers (Figure 1). Boards with a 7:3 glue-to-fiber ratio had a light brown color and hard texture with many voids. In contrast, boards with an 8:2 ratio showed a darker brown color and fewer voids, while the 9:1 ratio board had a very dark brown color and a dense surface. Color analysis indicated a general trend from lighter to darker hues with changes in glue concentration and particle size. Smaller particles generally resulted in denser boards and darker colors.

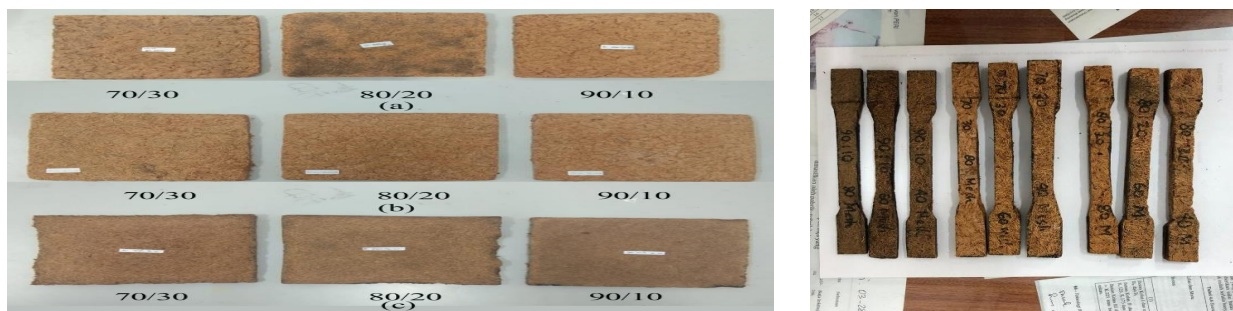


Figure 1. Visual comparison of composite boards: 40–60 mesh, 60–80 mesh, <80 mesh

2. Density analysis

The density ranges from 0.42 g/cm³ (for a 7:3 ratio) to 0.79 g/cm³ (for a 9:1 ratio). The boards met the Japanese Industrial Standard (JIS) for particle boards, with densities falling within the 0.4–0.8 g/cm³ range.

3. Water absorption

The boards with a 9:1 glue-to-fiber ratio exhibited the lowest swelling degree, indicating lower water

absorption. This suggests that a higher concentration of copal glue and smaller particle sizes contribute to reduced water absorption.

4. SEM test results

SEM analysis revealed that NaOH-treated fibers had a displayed surface area and improved bonding. Composite boards displayed bonding and fewer voids because of the presence of copal glue and coupling agents filling fiber cavities.

5. FTIR test results

FTIR spectra showed shifts in the -OH and C-H functional groups after NaOH treatment, indicating changes in fiber composition and improved bonding with the matrix. New peaks for MAH were observed, confirming its role in strengthening the composite.

6. Modulus of elasticity

The purpose of testing the modulus of elasticity is to determine the strength and resistance of composite boards to applied loads. The tested samples were formed according to ASTM D-638-02a standards. The MOE values varied from 5.6 MPa (8:2 ratio, 40–60 mesh) to 101.8 MPa (9:1 ratio, 60–80 mesh).

The MOE fulfills the standard required by SNI 01-4449-2006, which specifies a minimum modulus of elasticity of ≥ 78.45 MPa for medium-quality composite boards. This is because of the manual mixing and molding process, which results in uniformity in the sample and affects the MOE values obtained (Waryati *et al.* 2017).

The composition of the matrix and filler also affects the MOE values obtained. This is demonstrated by the highest MOE value among all samples, which occurs at a ratio of 9:1. This finding is consistent with research by Dirhamsyah (2011), which indicates that higher matrix content results in increased MOE values. Higher matrix content generally resulted in higher MOE values, indicating better structural strength. In this study, particle size does not have a significant impact on the MOE values obtained. Reducing particle size can enhance density uniformity for particles with weak cohesion but not for those with strong cohesion (He *et al.* 2021).

7. Modulus of rupture

The aim of testing the modulus of rupture is to evaluate the resistance of composite boards to applied loads and external forces. The samples were tested according to ASTM D-636-02a standards. Figure 2 displays the results of the compressive strength testing of composite boards produced with various matrix, filler, and particle size variations.

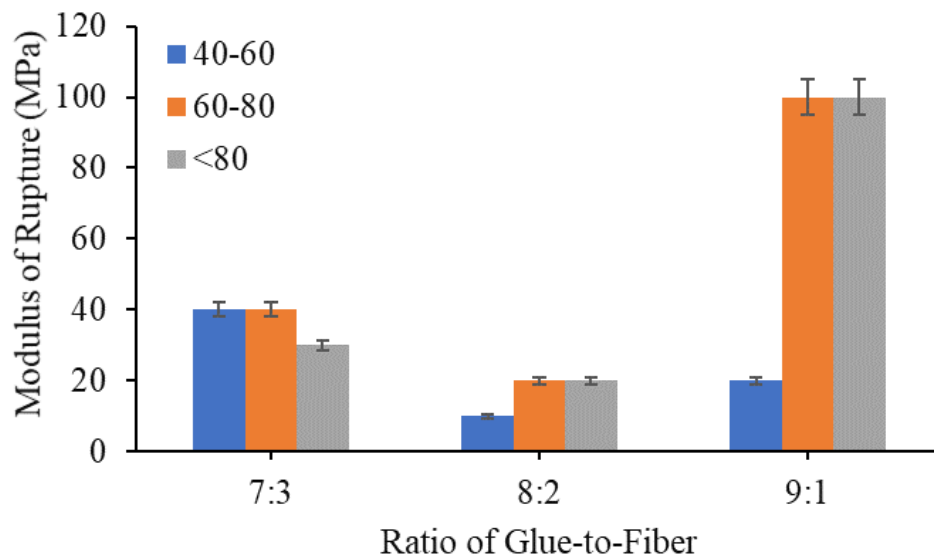


Figure 2. The effect of glue-to-fiber ratio on MOR with various particle size

Figure 2 illustrates that the MOR in all composite board samples varies and does not exhibit a clear trend. This is because of the inconsistencies in the manual processing, which result in varying densities and fiber bond structures in each composite board produced (Trisna and Mahyudin 2012). For example, the mixing process did not result in a uniform distribution of filler and matrix, and the pressing of each sample did not receive uniform pressure.

MOR values varied widely, with the highest at 100 MPa (9:1 ratio) and the lowest at 10 MPa (8:2 ratio). The results indicated inconsistencies because of manual processing variations. The minimum standard value for the MOR set by SNI 02-4449-2006 (Table 2) is 5 MPa. Based on the MOE values obtained, all produced samples meet the SNI standards.

8. Sound absorption

Sound absorption testing was conducted using a simple tube based on the impedance tube principle, performed in a soundproof room. The purpose of this sound absorption test is to determine how much sound can be absorbed by the produced composite boards. In this study, samples were tested over frequency range of 100–630 Hz. Figure 3 displays the sound absorption values of the composite boards in this study.

Based on Figure 3, the sound absorption test results for composite boards at frequencies of 100–630 Hz show a range of absorption values. The lowest sound absorption value was obtained at a glue-to-fiber ratio of 8:2, 60–80 mesh, with a value of 3.57 dB, while the highest sound absorption value was obtained at a ratio of 9:1, with a value of 8.62 dB.

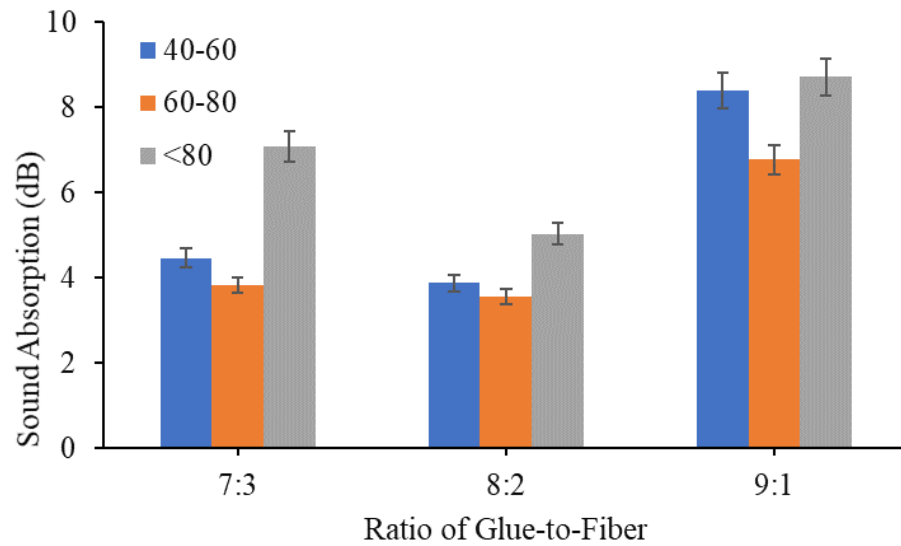


Figure 3. The effect of glue-to-fiber ratio on sound absorption

Boards with higher copal glue concentrations generally had better sound absorption. The highest absorption value was 8.62 dB at a 9:1 ratio, with lower values observed in other samples. The material's damping and sound absorption properties are heavily influenced by factors such as viscoelasticity, density, the fiber-matrix interface, and the material's porosity (Sujon *et al.* 2021). Therefore, to determine the optimal composite board value, the SAW is used.

9. Differential scanning calorimetry

DSC is a method used to measure the energy needed to increase the temperature of a sample relative to that of a reference material (Costa-Fernandez *et al.* 2022). In this study, DSC testing was performed on composite board with a glue-to-fiber ratio of 9:1 and 60 mesh. The DSC values obtained for these samples are shown in Figure 4.

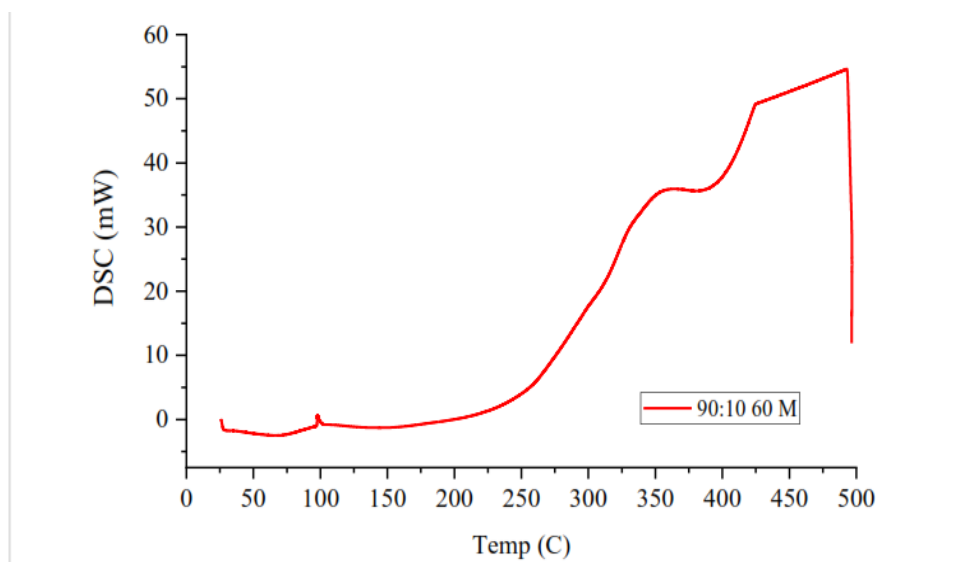


Figure 4. Thermogram of composite boards at a glue-to-fiber ratio of 9:1 and 60 mesh

DSC results showed phase changes at around 100 °C and endothermic peaks at 250 °C and 380 °C, corresponding copal adhesive changes and carbonization of coconut fibers. Based on the thermogram, it can be observed that there is a change in the graph at 100 °C, indicating a phase caused by water. The subsequent phase change peaks include two endothermic peaks. The first endothermic peak appears at 250 °C, indicating thermal changes in the copal adhesive used. The second endothermic peak is at 380 °C, where carbonization of coconut fibers into charcoal and further changes occur.

10. Determination of composite board quality ranking

The SAW method is used to determine the best value of produced composite boards. The optimum value in this study considers several criteria, including MOE, MOR, water absorption, and sound absorption. Figure 5 illustrates the optimum value for the composite boards in this study.

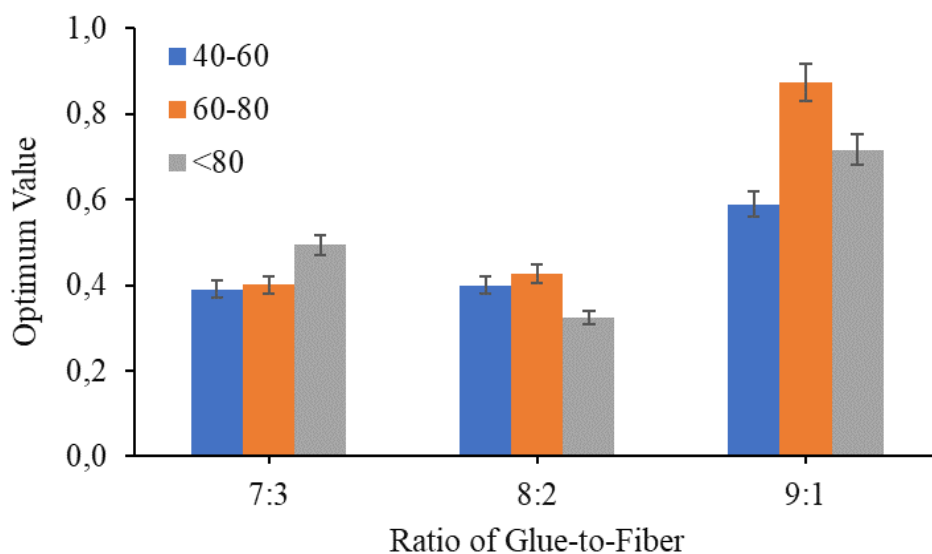


Figure 5. The effect of glue-to-fiber ratio of optimum value of SAW

Figure 4 shows how the ratio influences the optimum value of the composite boards. The best-performing composite board had a 9:1 glue-to-fiber ratio and 60–80 mesh particle size, showing high MOE (101.8 MPa), MOR (100 MPa), low water absorption (26.22%), and sound absorption (6.77 dB). The SAW method determined this combination to be the optimal configuration. The preference value for each alternative (V_i) for the sample is 0.87.

IV. CONCLUSION

The study found that the composite boards in this study meet the requirements of SNI 01-4449-2006 and JIS A 5908-8-2003, classifying them as medium-density particle boards. The MOE value of the composite boards meets the SNI 01-4449-2006 standard, being above 5 MPa. However, the MOR value of the composite boards does not meet the SNI 01-4449-2006 standard, as it below 78.45 MPa. The lowest sound absorption value is obtained from the ratio of 8:2, 60 mesh sample at 3.57 dB, while the highest sound absorption value is at the ratio

of 9:1, <80 mesh, with 8.72 dB. DSC testing revealed two endothermic phase changes: at approximately 250 °C, indicating thermal changes in the copal adhesive, and at 380 °C, indicating the carbonization of coconut fibers into charcoal. According to the SAW method, the best composite sample is found at a glue-to-filler ratio of 9:1 and a particle size of 60–80 mesh. The different ratios of copal glue to coconut coir should be explored to find the optimal balance that maximizes the mechanical properties and improves the performance of the composite boards.

REFERENCES

- Costa-Fernandez JM, Redondo-Fernandez G, Fernandez-Arguelles MT, Soldado AB. 2022 Analytical tools for the characterization and quantification of metal nanoclusters. *Luminescent Metal Nanoclusters*, 2022:57-88.
- Dirhamsyah M. 2011. Sifat papan semen partikel kayu karet. *Tengkawang: Jurnal Ilmu Kehutanan*, 1(1):43-50.
- He Y, Hassanpour A, Bayly AE. 2021. Combined effect of particle size and surface cohesiveness on powder spread ability for additive manufacturing. *Powder Technology*, 392:191-203.
- Ighalo JO, Conradie J, Ohoro CR, Amaku JF, Oyedotun KO, Maxakato NW, Akpomie KG, Okeke ES, Olisah C, Malloum A, Adegoke KA. 2023. Biochar from coconut residues: An overview of production, properties, and applications. *Industrial Crops and Products*, 204:117300.
- Jang ES. 2023. Sound absorbing properties of selected green material: A review. *Forests*, 14(7):1366.
- Jarlis R. 2022. Mechanical properties of coconut particle board with variation of material composition. *Asian Journal of Science Education*, 4(1):40-50.
- Mediastika CE, Sudarsono AS, Utami SS, Fitri I, Drastani R, Winandari MIR, Rahman A, Kusno A, Mustika NWM, Mberu YB, Yanti RJ, Rachman ZA. 2022. Noise in Indonesian urban areas: Rules and facts. *Journal of Architecture and Urbanism*, 46(1): 68-82.
- Prasad GLE, Gowda BSK, Velmurugan R. 2020. Study on mechanical properties of basalt rock fiber reinforced polyester composites. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, 5:63-68.
- Rahmi, Lelifajri, Nurfatimah R. 2018. Preparation of polyethylene glycol diglycidyl ether (PEDGE) crosslinked chitosan/activated carbon composite film for Cd²⁺. *Carbohydrate Polymers*, 199(1):499-505.
- Stelte W, Reddy N, Barsberg S, Sanadi AR. 2023. Coir from coconut processing waste as a raw material for a raw material for applications beyond traditional uses. *BioResources*, 18(1):2187-2212.
- Sujon MAS, Islam A, Nadimpali VK. 2021. Damping and sound absorption properties of polymer matrix composites: A review. *Polymer Testing*, 104:107388.
- Trisna H, Mahyudin A. 2012. Analisis sifat fisis dan mekanik papan komposit gypsum serat ijuk dengan penambahan boraks (*Inatrium tetraborate decahydrate*). *Jurnal Fisika Unand*, 1(1):30-36.
- Verma D, Goh KL. 2021. Effect of mercerization surface treatment of natural fibers and their utilization in polymer composites: Mechanical and morphological studies. *Journal of Composites Sites*, 5(7):175.
- Waryati, Fritami LT, Sarwono E. 2017. Pemanfaatan serabut kelapa (*coco fiber*) dan lem kanji (*Cassava starch*) menjadi papan serat komposit sebagai material pengendali kebisingan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(1):27-35.
- World Health Organization. 2021. *World Report on Hearing*. World Health Organization, Geneva.

RANGKA SEPEDA MODIFIKASI DARI PELAT LOGAM DENGAN METODE METAL CUTTING

Akhyar¹, Muhammad Rizal¹, Mustafa Kamal¹, Ahmad Farhan²

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Departemen Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pengetahuan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Penulis korespondensi: akhyar@usk.ac.id

RINGKASAN

Rangka memiliki peran penting dalam konstruksi sepeda, terutama karena menopang beban dan memastikan stabilitas keseluruhan. Pada umumnya, rangka sepeda terbuat dari pipa, tetapi dalam penelitian ini, bahan dasar rangka menggunakan pelat logam. Karena perubahan ini, analisis mekanis menjadi sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons mekanis dari rangka sepeda kota yang dibuat dari pelat logam dengan teknik pemotongan dan pengelasan. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) untuk mengkaji distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan. Hasil simulasi divalidasi dengan uji eksperimental yang meliputi lima kondisi jalan: aspal, berbatu, paving block, tanjakan, dan turunan. Dari hasil uji, terlihat bahwa nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota dengan bahan pelat terjadi pada *chain stay* sebesar $9,91 \times 10^{-5}$ di jalan menanjak. Hasil simulasi menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada seat beam dengan nilai *von Mises stress* sebesar 99,29 MPa. Pada rangka sepeda kota, regangan maksimum juga terdeteksi di area dalam seat beam dengan besaran regangan $4,218 \times 10^{-4}$. Regangan pada *chain stay* tercatat sebesar $2,17 \times 10^{-5}$, *seat beam* $1,428 \times 10^{-5}$, dan *bottom beam* $3,283 \times 10^{-5}$. Perpindahan maksimum terjadi pada *saddle tube*, dengan nilai sebesar 0,6306 mm. Dari hasil keseluruhan penelitian ini, rangka sepeda kota berbahan pelat menunjukkan kemampuan untuk menahan beban hingga 800 N dengan baik, memberikan wawasan berharga untuk pengembangan desain sepeda yang aman dan andal. Selain itu, data distribusi tegangan dan regangan ini bermanfaat untuk perancangan rangka yang lebih efisien dalam menahan berbagai kondisi jalan.

I. PENDAHULUAN

Sepeda kota merupakan sarana transportasi yang ekonomis dan praktis, dengan biaya operasional rendah karena tidak memerlukan bahan bakar serta perawatan yang lebih sederhana dibandingkan kendaraan

bermotor. Selain itu, sepeda kota dapat dioperasikan tanpa memerlukan lisensi atau keterampilan tinggi, menjadikannya pilihan yang mudah diakses oleh berbagai kalangan. Dengan kemajuan teknologi dan pergeseran budaya akibat globalisasi, fungsi sepeda kota telah bergeser dari sekadar sarana transportasi menjadi barang pribadi. Pergeseran ini tercermin dalam peningkatan jumlah pengguna sepeda kota yang terus bertambah setiap tahunnya. Dalam perancangan sepeda kota, beberapa faktor kritis harus diperhatikan, termasuk estetika, ergonomi, dan terutama kekuatan komponen, khususnya rangka sepeda kota (Suppaitnarm *et al.* 2004; Lin *et al.* 2009). Sebagai komponen utama yang menopang semua elemen yang terpasang, kekuatan rangka sangat penting, karena kegagalan rangka dapat berdampak langsung pada keselamatan pengendara (Lin *et al.*, 2017a).

Rangka sepeda kota berfungsi sebagai penyangga utama, tempat berpusatnya semua resultan gaya dari komponen-komponen sepeda (Miles dan Archibald 2013). Pada kondisi jalan rata, gaya aksi-reaksi didefinisikan sebagai beban minimum, sedangkan pada jalan bergelombang atau saat terjadi benturan, beban maksimum diterapkan (Wikarta dan Tambun 2021). Pembebanan ini berlangsung secara berulang, menyebabkan material rangka mengalami kelelahan (*fatigue*) yang dapat berujung pada kegagalan (*failure*). Kegagalan akibat kelelahan material sangat berbahaya karena terjadi tanpa adanya deformasi awal (Bathias and Pineau 2013; Zerbst *et al.* 2021). Faktor-faktor yang mempercepat kelelahan material meliputi beban maksimum yang tinggi, fluktuasi tegangan yang besar, serta variabel lain seperti konsentrasi tegangan, korosi, suhu, tegangan sisa, dan geometri rangka (Gao *et al.* 2019; Corigliano dan Crupi 2022). Meskipun geometri rangka sepeda kota sangat menentukan kenyamanan, optimasi *fatigue* tidak dapat dilakukan melalui perubahan geometri. Sebaliknya, optimasi harus difokuskan pada daerah dengan tegangan kritis pada rangka sepeda kota (Dvořák *et al.* 2022).

Tekanan pada kerangka sepeda kota bervariasi di bawah kondisi pembebanan yang berbeda, dengan beberapa bagian rangka mengalami tekanan yang berbeda saat sepeda berhenti dan saat dikayuh. Tegangan ini disebabkan oleh berbagai gaya, termasuk bobot pengendara pada *saddle*, beban dan getaran yang diinduksi oleh jalan, tegangan rantai, serta gaya yang diberikan pengendara pada pedal (Suppaitnarm *et al.* 2004; Corno *et al.* 2021). Evaluasi respons mekanis dari rangka sepeda kota menggunakan metode simulasi elemen hingga (FEM) dan validasi eksperimental menunjukkan peningkatan signifikan dalam pendekatan analisis rangka sepeda selama dekade terakhir. Studi-studi terkini telah menekankan pentingnya menggunakan FEM untuk menganalisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan pada rangka sepeda yang dirancang khusus untuk kondisi jalan yang bervariasi, seperti jalan aspal, berbatu, *paving block*, menanjak, dan menurun (Covill *et al.* 2014; Covill *et al.* 2016; Lin *et al.* 2017b).

Penelitian telah menunjukkan bahwa kombinasi simulasi FEM dan pengujian eksperimental adalah metode yang efektif untuk mengevaluasi kinerja rangka sepeda di bawah kondisi pembebanan dinamis yang berbeda. Validasi eksperimental tidak hanya penting untuk memastikan keandalan hasil simulasi, tetapi juga untuk memahami batasan dan potensi perbaikan dalam desain rangka sepeda (Racic *et al.* 2009; Ansariyar *et al.* 2022). Misalnya, penelitian yang menggunakan analisis FEM telah berhasil mengidentifikasi titik-titik konsentrasi tegangan pada rangka yang kemudian dikonfirmasi melalui pengujian di laboratorium, memperkuat pentingnya pendekatan hibrid ini (Markou dan Papadrakakis 2015; Mortazavi *et al.* 2022; Husaini *et al.*, 2023). Lebih lanjut, beberapa penelitian juga telah mengeksplorasi optimasi desain rangka dengan fokus pada peningkatan daya tahan terhadap kelelahan (*fatigue*) material (Benedetti *et al.* 2021; Ni *et al.* 2024). Hal ini penting untuk memastikan keamanan dan keandalan rangka sepeda kota dalam jangka panjang, terutama di lingkungan perkotaan dengan

kondisi jalan yang beragam (Rose 2012). Secara keseluruhan, literatur yang ada mencerminkan kemajuan dalam pemahaman perilaku mekanis rangka sepeda dan menunjukkan bahwa pendekatan integratif antara simulasi FEM dan validasi eksperimental adalah strategi yang efektif untuk memastikan desain rangka sepeda yang aman dan andal (Akhyar *et al.* 2020; Dvořák *et al.* 2022; Regenwetter *et al.* 2023). Untuk memahami distribusi tegangan dan gaya reaksi pada rangka sepeda kota yang terbuat dari pelat logam, diperlukan analisis menggunakan metode FEM. Analisis ini penting untuk mengamati distribusi tegangan pada rangka dan akan divalidasi melalui pengujian eksperimental. Penelitian ini berfokus pada analisis desain geometris rangka sepeda kota, yang mencakup studi pengaruh perubahan geometri rangka terhadap distribusi tegangan dan bentuk deformasi akibat beban pengendara. Studi ini juga melibatkan pengukuran beban dari massa pengendara pada titik-titik kontak kritis antara pengendara dan sepeda kota, seperti batang kemudi, *saddle*, dan pedal.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi respons mekanis dari rangka sepeda yang terbuat dari pelat logam yang dirancang dan diproduksi melalui teknik pemotongan logam (*metal cutting*) dan pengelasan pada sambungan, yang diperuntukkan bagi sepeda kota. Metodologi yang digunakan meliputi simulasi FEM untuk menganalisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan (*displacement*) pada rangka sepeda yang telah didesain. Selain itu, validasi eksperimental dilakukan untuk memastikan keandalan hasil simulasi. Lima kondisi jalan yang berbeda juga diujikan secara eksperimental, meliputi (1) kondisi jalan aspal; (2) kondisi jalan berbatu; (3) kondisi jalan *paving block*; (4) kondisi jalan menanjak; dan (5) kondisi jalan menurun. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai perilaku mekanis rangka sepeda dalam berbagai kondisi jalan, serta memastikan desain rangka yang aman dan dapat diandalkan untuk penggunaan di lingkungan perkotaan.

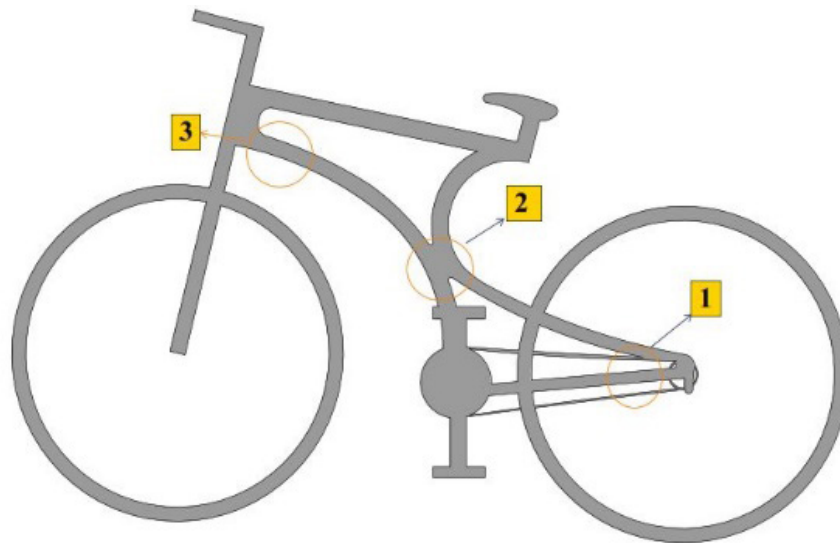
II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

Metode FEM adalah pendekatan numerik untuk menganalisis struktur dengan membagi objek menjadi elemen-elemen kecil yang terhubung melalui nodal. Proses ini, dikenal sebagai *meshing*, melibatkan penetapan wilayah analisis, mendefinisikan masalah dengan elemen dan nodal, serta menggunakan fungsi kontinu untuk menggambarkan sifat fisik elemen. Selanjutnya, persamaan untuk setiap elemen diselesaikan secara individu, elemen-elemen digabungkan untuk membentuk model keseluruhan, dan matrik kekakuan global disusun. Kondisi batas, awal, dan pembebanan diterapkan pada model (Fries dan Belytschko 2010).

Strain gauge adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mengukur deformasi atau strain pada suatu benda. Komponen ini terdiri atas *foil* logam dengan sifat isolasi yang ditempelkan pada benda uji. *Strain gauge* beroperasi dengan mengukur perubahan tahanan listrik yang terjadi akibat deformasi pada *foil* logam, yang kemudian diintegrasikan ke dalam jembatan Wheatstone untuk menentukan nilai tahanan (Ajovalasit *et al.* 2007).

Modul Input Jembatan Strain NI-9237 dari National Instruments merupakan perangkat berkinerja tinggi yang dirancang untuk pengukuran *strain*. Modul ini dilengkapi dengan empat saluran dan memiliki laju sampel 50 kS per detik untuk setiap saluran. Modul ini memungkinkan pengukuran simultan dari empat sensor berbasis jembatan, mendukung berbagai aplikasi dalam pengukuran dan komunikasi.

Signal Express adalah aplikasi yang digunakan untuk memperoleh, menghasilkan, menganalisis, membandingkan, mengimpor, dan mencatat sinyal. Aplikasi ini memfasilitasi perbandingan antara data desain dan data pengukuran dengan mudah, serta memperluas kemudahan penggunaan dan kinerja instrumentasi virtual tanpa memerlukan pemrograman yang kompleks.



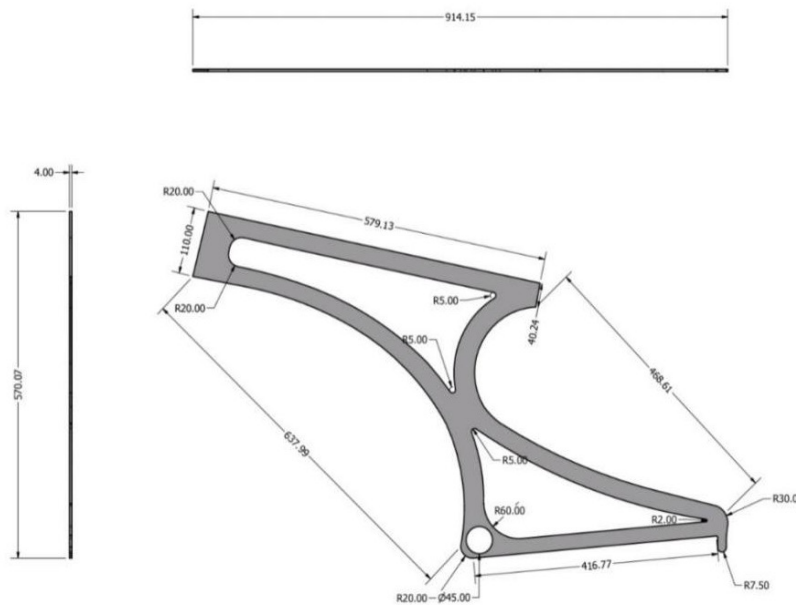
Gambar 1. Titik pengujian pada rangka pelat

Rangka sepeda kota yang terbuat dari pelat dengan alat pengukur dipasang seperti ditunjukkan Gambar 1 (Akhyar *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, pengukuran regangan dilakukan secara eksperimental pada rangka sepeda kota di lokasi-lokasi berikut, (1) *chain stay*, (2) *seat beam*, dan (3) *bottom beam*. Pengujian eksperimen dilakukan dalam berbagai kondisi jalan sebagai berikut (1) jalan aspal, (2) jalan batu, (3) jalan *paving block*, (4) jalan menanjak, dan (5) jalan menurun, seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangka sepeda dari plat logam yang diproduksi dengan *metal cutting* dan kondisi pengukuran regangan pada berbagai kondisi jalan.

Desain struktur rangka sepeda dari pelat disajikan pada Gambar 3. Sepeda ini merupakan hasil modifikasi dari sepeda konvensional berbahan pipa logam, yang kini diproduksi menggunakan pelat logam melalui teknik pemotongan logam seperti pemotongan plasma atau laser. Sepeda ini merupakan inovasi dari desain sepeda konvensional yang biasanya terbuat dari pipa logam. Berbeda dari model tradisional, sepeda ini dibuat menggunakan pelat logam yang diperoleh melalui proses produksi modern. Proses ini mencakup teknik pemotongan logam yang canggih, seperti pemotongan plasma atau laser, yang memungkinkan presisi tinggi dan efisiensi dalam pembuatan komponen sepeda. Penggunaan pelat logam ini tidak hanya meningkatkan kekuatan dan ketahanan struktural sepeda, tetapi juga memberikan fleksibilitas desain yang lebih besar dibandingkan dengan pipa logam konvensional. Dengan teknik pemotongan yang presisi, komponen sepeda dapat diproduksi dengan toleransi yang ketat, menghasilkan produk akhir yang lebih sesuai dengan standar kualitas dan performa yang diinginkan. Sepeda yang menggunakan pelat logam dan teknik *metal cutting* ini telah menjalani serangkaian uji coba di Area Kampus Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala. Uji ini dilakukan untuk mengevaluasi performa dan ketahanan sepeda dalam kondisi yang bervariasi, memastikan bahwa desain dan proses produksi memenuhi standar teknis yang ditetapkan.



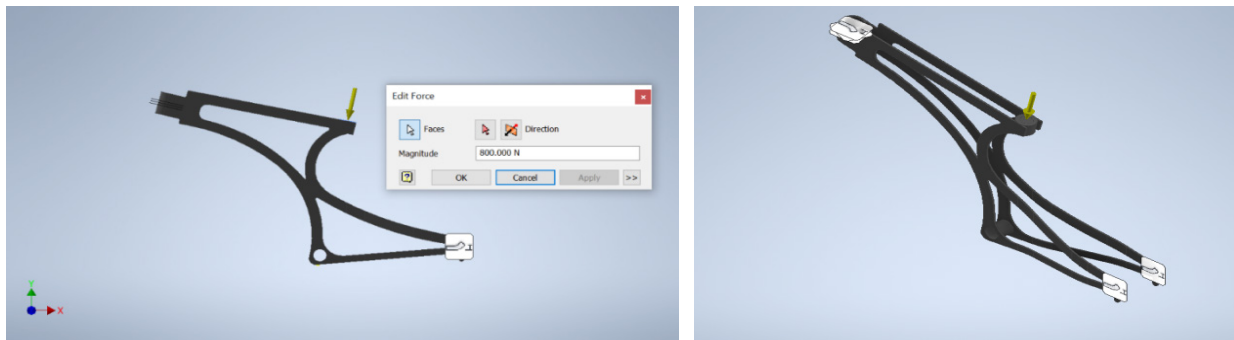
Gambar 3. Model dan dimensi rangka sepeda kota pelat (Akhyar *et al.* 2022)

Material yang digunakan adalah pelat baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 4 mm, komposisi kimia dan *mechanical properties* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon ASTM A36 dan sifat mekaniknya.

Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu
Bal.	0,25	0,9	0,04	0,05	0,04	0,20
Tensile Strength, Ultimate (MPa.)	Tensile Strength, Yield (MPa.)	Elongation at Break (in 200 mm)	Elongation at Break (in 50 mm)	Modulus of Elasticity (GPa)	Bulk Modulus (typical for steel) (GPa)	Poissons Ratio
400 - 550	250	20,0 %	23,0 %	200	140	0,260

Jenis beban yang diberikan adalah *concentrated force* (beban terpusat) pada saddle sebesar 800N, hal ini di dasarkan dari berat badan pengendara. Selanjutnya pemberian tumpuan (*boundary condition*) untuk pembebanan kondisi *general-static*, seperti yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Boundary condition* dan *load* yang diberikan pada rangka sepeda desain

Tahapan *meshing* yang dilakukan pada rangka sepeda kota dari pelat menggunakan tipe *mesh tetrahedron* disajikan pada Gambar 5.

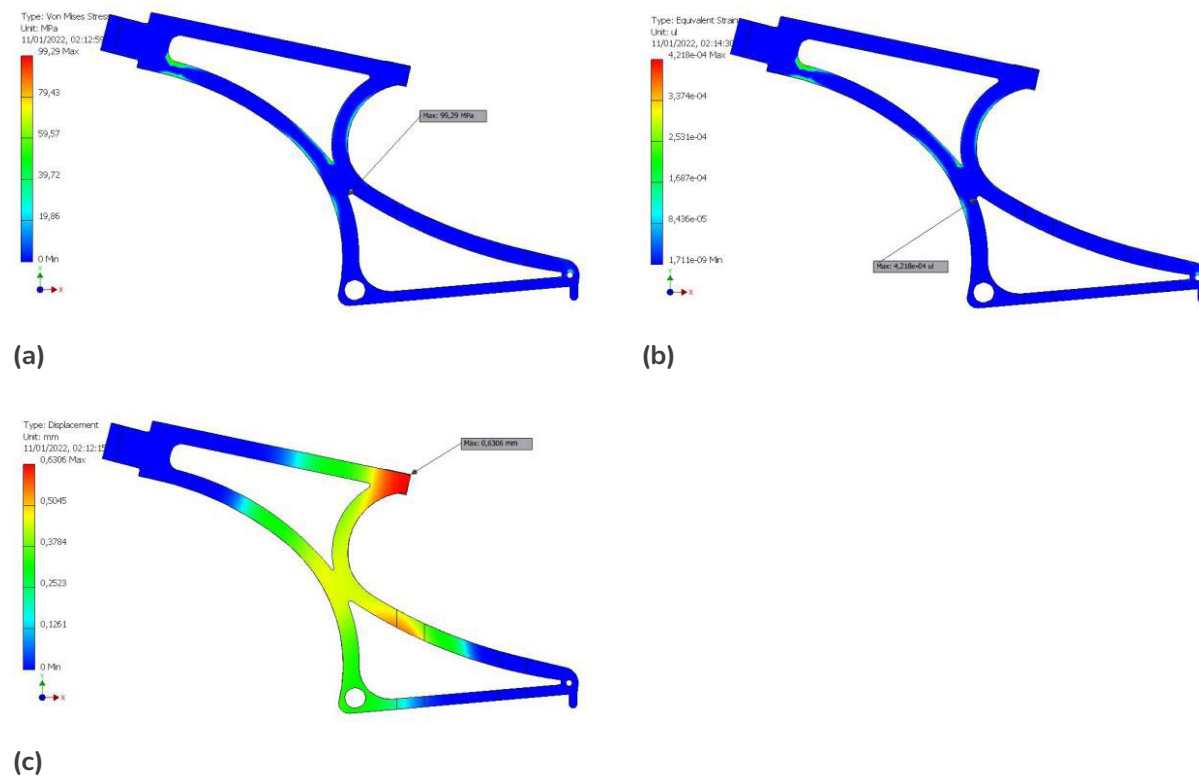


Gambar 5. Hasil *meshing* rangka sepeda kota pelat

Running job adalah tahap akhir simulasi ketika model rangka dijalankan dengan beban yang telah ditentukan. Proses ini melibatkan perhitungan numerik model yang berlangsung dalam waktu yang bervariasi, dari detik hingga menit, tergantung pada ukuran mesh dan kemampuan *hardware* komputer. Hasil simulasi ditampilkan pada monitor; pemberitahuan *complete* menunjukkan simulasi berhasil, sementara pemberitahuan *error* menandakan adanya kesalahan. Hasil simulasi dapat dilihat dalam bentuk animasi dan grafis pada tahap visualisasi untuk analisis lebih lanjut (Mourtziset *al.* 2014).

III. HASIL /TEMUAN

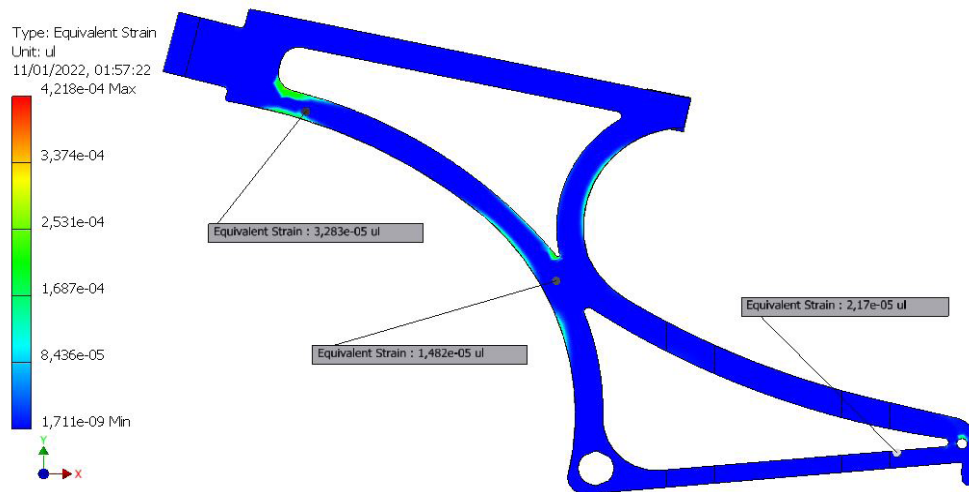
Gambar 6 menunjukkan hasil analisis pada rangka sepeda kota, *von mises stress* merupakan tegangan total akibat pembebanan, struktur dikatakan gagal apabila nilai *von mises stress* melebihi kekuatan bahan (*strength of material*). Hasil simulasi diketahui tegangan paling tinggi karena pembebanan berada pada *seat beam* nilai *von misses stress* sebesar 99,29 MPa, tegangan tersebut terletak pada bagian plat bagian dalam profil distribusi tegangan yang tinggi terbentuk umumnya pada pinggir dari rangka sepeda kota. Nilai-nilai *von misses stress* yang terbilang tinggi tersebut dapat diabaikan karena nilai tersebut hanya bersifat lokal, tidak secara menyeluruh, dan masih dibawah tegangan luluh material ASTM A-36 yaitu 250 MPa.



Gambar 6. (a) distribusi tegangan, (b) regangan, dan (c) *displacement* yang terbentuk dari hasil simulasi pada rangka sepeda kota.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa hasil analisis pada rangka sepeda kota regangan maksimum yang terbentuk pada rangka sepeda kota juga terlihat pada daerah *seat beam* bagian dalam, besaran regangannya adalah 4,218

$\times 10^{-4}$. Profil distribusi tegangan dan regangan terlihat hampir sama terbentuk pada rangka sepeda kota. Pada Gambar 7, hasil analisis pada rangka sepeda kota regangan yang terbentuk pada rangka sepeda kota pada *chain stay* sebesar $2,17 \times 10^{-5}$, *seat beam* sebesar $1,428 \times 10^{-5}$ dan pada *bottom beam* sebesar $3,283 \times 10^{-5}$.

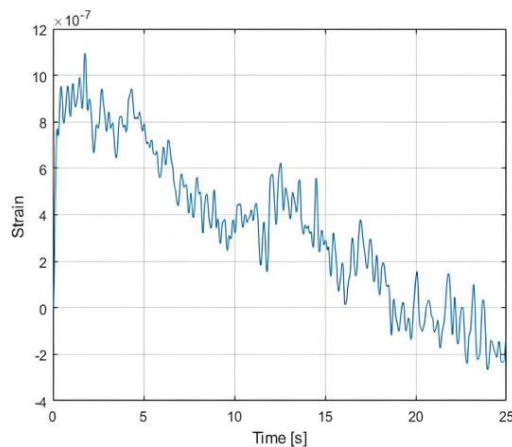


Gambar 7. Regangan pada *chain stay*, *seat beam* dan *bottom beam* tampak depan

Displacement/defleksi merupakan perubahan bentuk akibat adanya beban. Hasil *displacement* maksimum terlihat pada *saddle tube* yaitu sebesar 0,6306 mm dan *displacement* maksimum adalah pada daerah *drop out*. Nilai *displacement* tertinggi terlihat pada *saddle* dikarenakan dua *support* yang diberikan yaitu pada *head tube* dan pada *drop out*. Jarak antara *head tube* ke *paddle tube* adalah 497,38 mm dan jarak antara *paddle tube* ke titik *drop out* adalah 416,77 mm. Besaran dan lokasi *displacement* yang terbentuk pada struktur rangka sepeda kota sangat tergantung pada panjang masing-masing komponen serta bentuk/luas penampangnya.

3.1 Hasil Sinyal Regangan pada Kondisi Diam

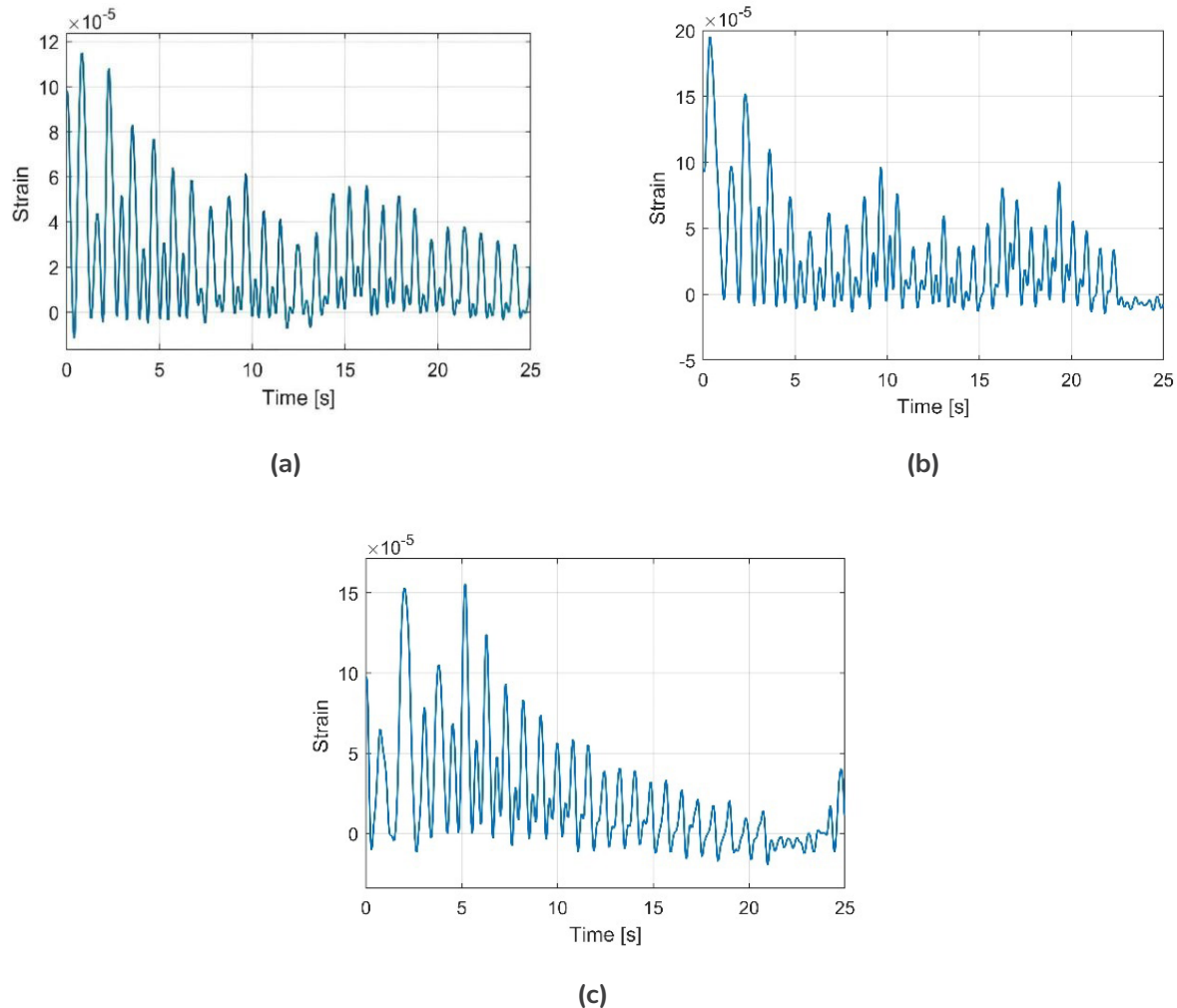
Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil regangan yang terjadi pada rangka sepeda kota dalam keadaan diam, terlihat tidak terdapat perubahan regangan signifikan dari waktu 0-25 detik.



Gambar 8. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi diam.

3.2 Hasil Sinyal Regangan pada Kondisi Jalan Aspal

Sinyal regangan pada kondisi jalan aspal yang terbentuk pada tiga lokasi yang diukur (*chain stay*, *seat beam*, dan *bottom beam*) untuk kondisi jalan aspal seperti disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan aspal, di lokasi: (a) *chain stay*, (b) *seat beam*, dan (c) *bottom beam*

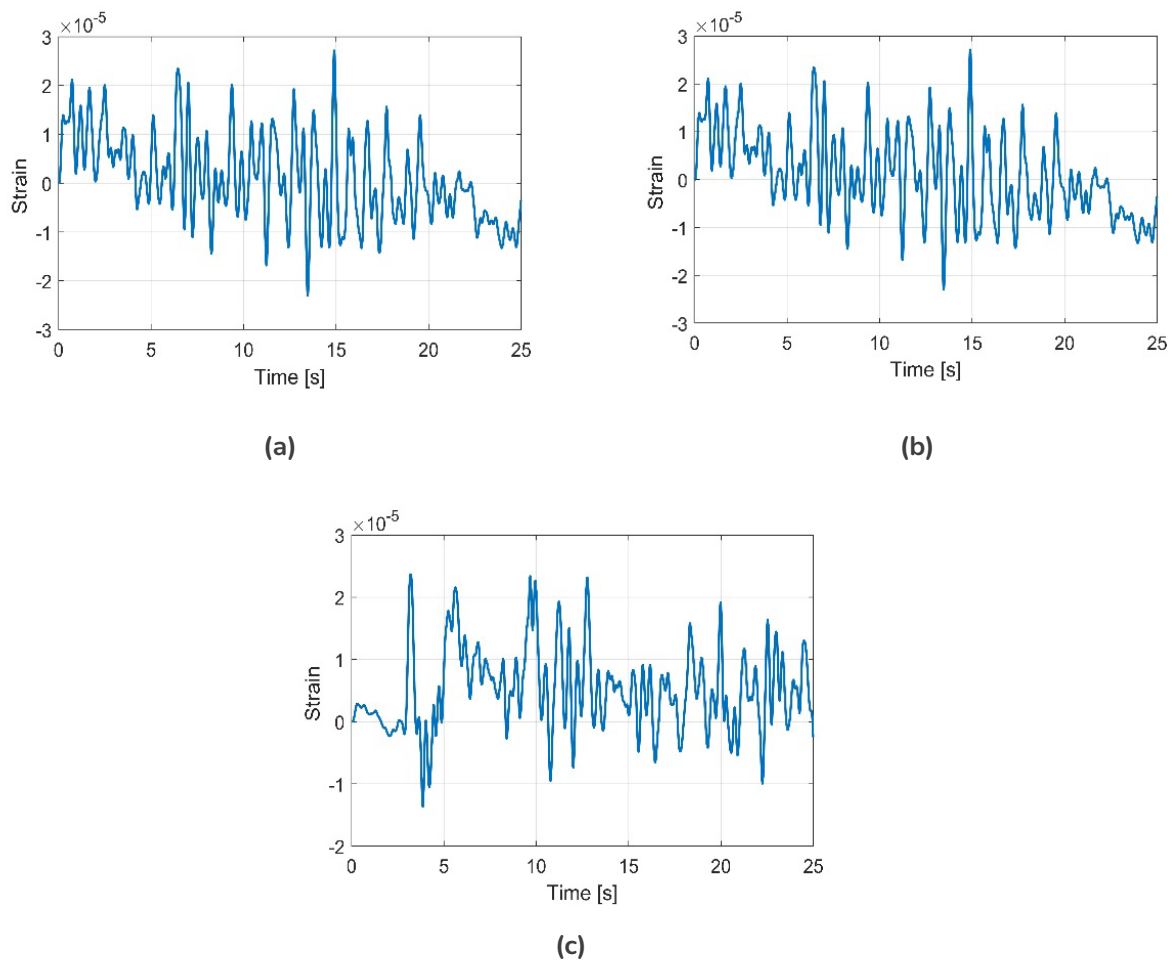
Sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *chain stay* pada kondisi jalan aspal seperti disajikan pada Gambar 9(a). Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik, terlihat perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-5, sedangkan perbedaan regangan terendah ditunjukkan pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan aspal pada titik *chain stay* adalah $1,365 \times 10^{-5}$.

Gambar 9(b) menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *seat beam* pada kondisi jalan aspal. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik, terlihat perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-5, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan aspal pada titik *seat beam* adalah $1,622 \times 10^{-5}$.

Gambar 9(c) menyajikan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *bottom beam* pada kondisi jalan aspal. Pada Gambar 9(c) ini dapat kita lihat perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Dapat kita lihat perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-5, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan aspal pada titik *bottom beam* adalah $1,75 \times 10^{-5}$.

3.3 Hasil Sinyal Regangan pada Kondisi Jalan Batu

Hasil sinyal regangan pada kondisi jalan batu diukur di tiga lokasi berbeda yaitu *chain stay*, *seat beam*, dan *bottom beam*, disajikan pada Gambar 10.



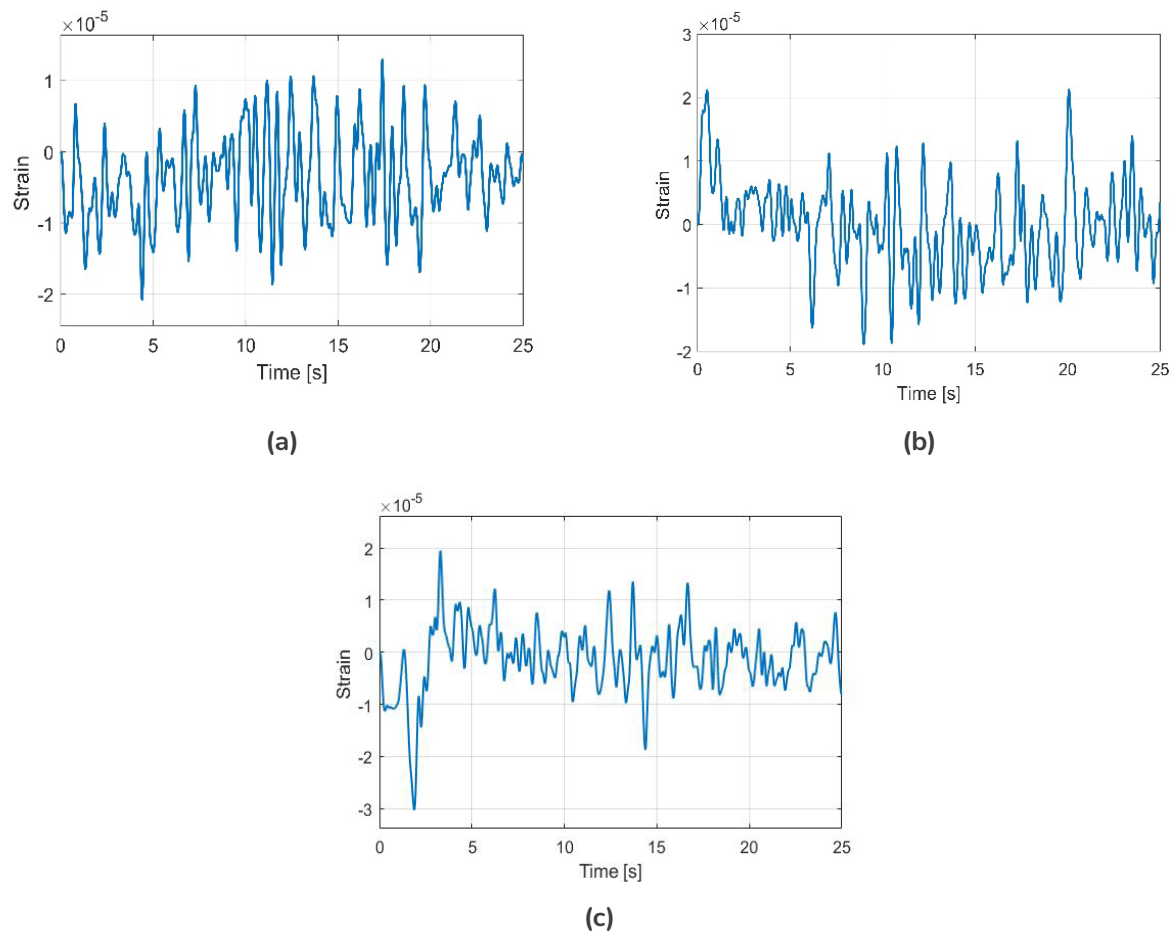
Gambar 10. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan batu, di lokasi: (a) *chain stay*, (b) *seat beam*, dan (c) *bottom beam*

Gambar 10(a) menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *chain stay* pada kondisi jalan batu, dengan perubahan regangan yang dipantau selama dua puluh lima detik. Data menunjukkan bahwa perbedaan regangan maksimum terjadi pada interval waktu 5-15 detik, sementara perbedaan regangan minimum teramati pada interval 0-5 detik. Nilai maksimum regangan pada titik *chain stay* pada kondisi jalan batu adalah $4,75 \times 10^{-5}$.

10^{-5} . Gambar 10(b) menyajikan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi seat beam pada kondisi jalan batu. Perubahan regangan selama dua puluh lima detik menunjukkan bahwa perbedaan regangan maksimum terjadi antara detik 10-15, sedangkan perbedaan regangan minimum terjadi antara detik 20-25. Nilai maksimum regangan pada titik seat beam di kondisi jalan batu tercatat sebesar $4,10 \times 10^{-5}$. Gambar 10(c) memperlihatkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi bottom beam pada kondisi jalan batu. Perubahan regangan selama periode dua puluh lima detik menunjukkan perbedaan regangan maksimum pada interval 5-15 detik, dengan perbedaan regangan minimum terdeteksi pada interval 0-5 detik. Nilai regangan maksimum pada titik *bottom beam* di kondisi jalan batu adalah $3,55 \times 10^{-5}$.

3.3 Hasil Sinyal Regangan pada Kondisi Jalan Paving Blok

Respons sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan paving blok dari tiga lokasi yang diukur yaitu: *chain stay*, *seat beam*, dan *bottom beam* seperti yang disajikan pada Gambar 11.



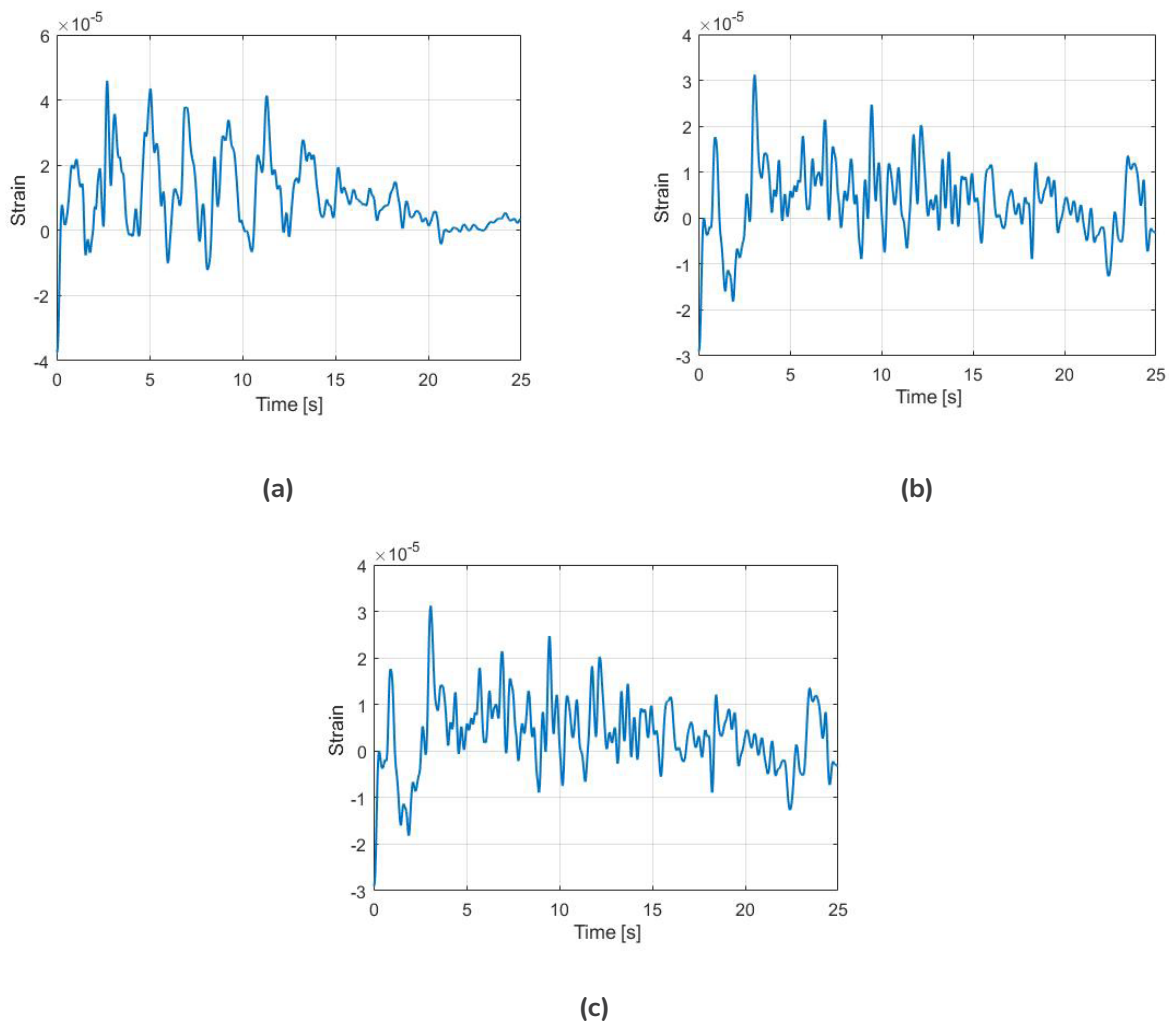
Gambar 11. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan *paving blok*, di lokasi (a) *chain stay*, (b) *seat beam*, dan (c) *bottom beam*

Gambar 11(a) menyajikan sinyal regangan terhadap waktu di *chain stay* pada kondisi jalan *paving blok*. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 10-

20, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan paving blok pada titik *chain stay* $4,88 \times 10^{-5}$. Gambar 11(b) menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *seat beam* pada kondisi jalan *paving blok*. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 5-15, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 15-20. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan paving blok pada titik *seat beam* $4,76 \times 10^{-5}$. Gambar 11(c) mempresentasikan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *bottom beam* pada kondisi jalan paving blok. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-5, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan paving blok pada titik *bottom beam* $4,73 \times 10^{-5}$.

3.4 Hasil sinyal regangan pada kondisi jalan menanjak

Respons sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan menanjak dari tiga lokasi yang diukur yaitu: *chain stay*, *seat beam*, dan *bottom beam* seperti yang disajikan pada Gambar 12.

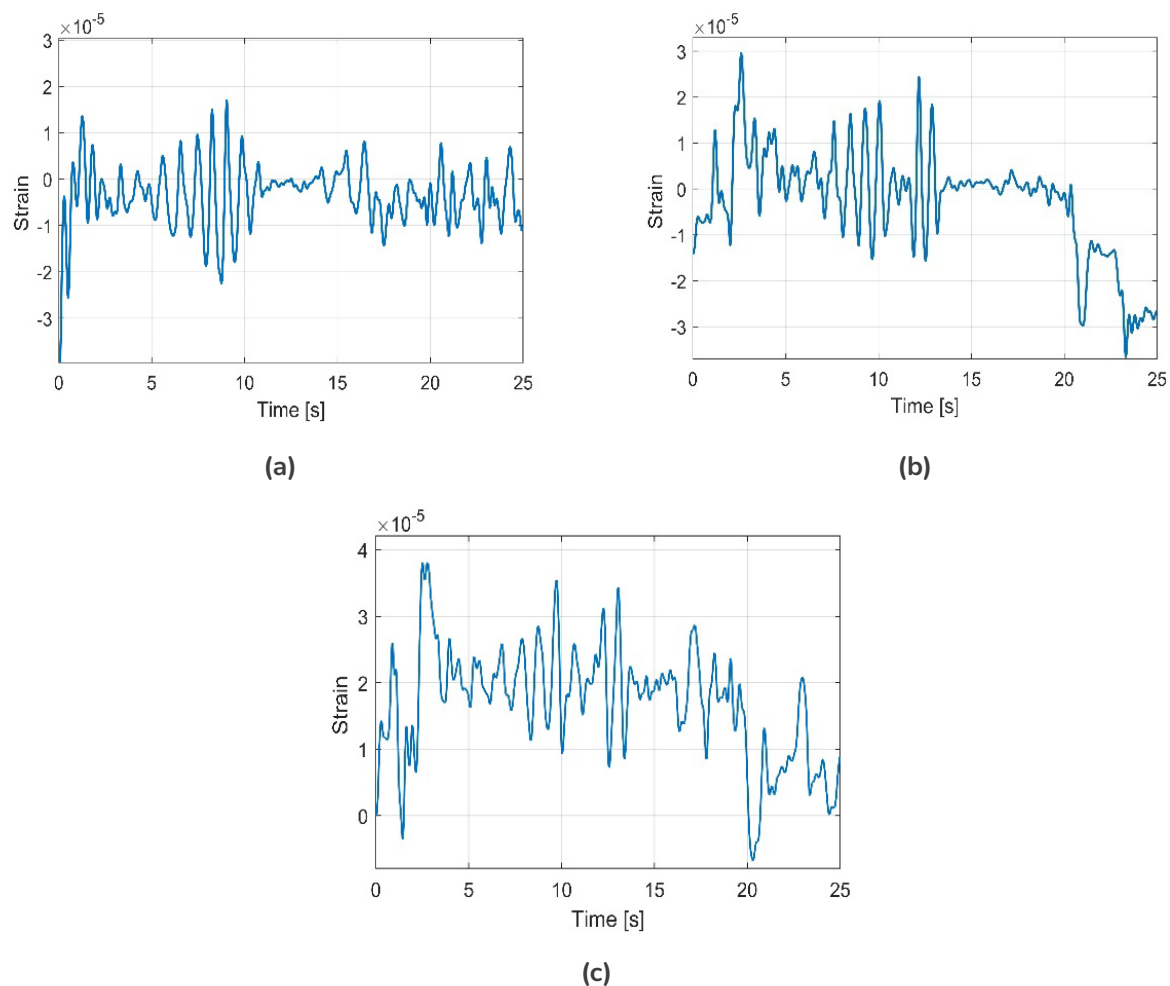


Gambar 12. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan menanjak, di lokasi (a) *chain stay*, (b) *seat beam*, dan (c) *bottom beam*

Gambar 12(a) menunjukkan hasil sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *chain stay* pada kondisi jalan batu. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-10, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 20-25. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan menanjak pada titik *chain stay* $9,91 \times 10^{-5}$. Gambar 12(b) menunjukkan bahwa menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *seat beam* pada kondisi jalan batu. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-10, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 15-20. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan menanjak pada titik *seat beam* $7,15 \times 10^{-5}$. Gambar 12(c) menyajikan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *bottom beam* pada kondisi jalan batu. Perubahan regangan tiap satuan waktu selama dua puluh lima detik. Dapat kita lihat perbedaan regangan tertinggi terdapat pada detik 0-5, sedangkan perbedaan regangan terendah terdapat pada detik 15-20. Nilai regangan maksimum pada rangka sepeda kota pelat pada kondisi jalan menanjak pada titik *bottom beam* $5,86 \times 10^{-5}$.

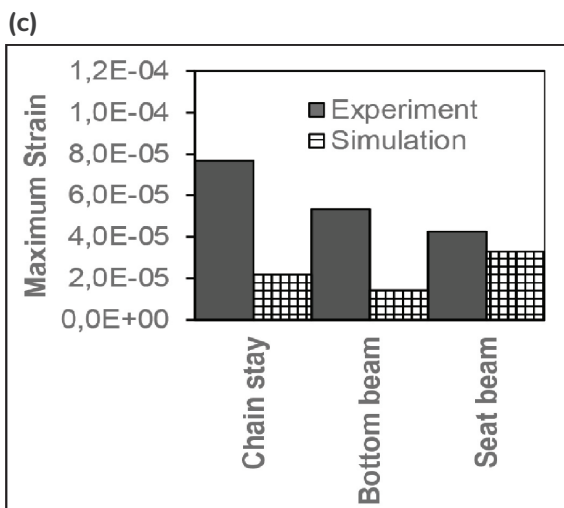
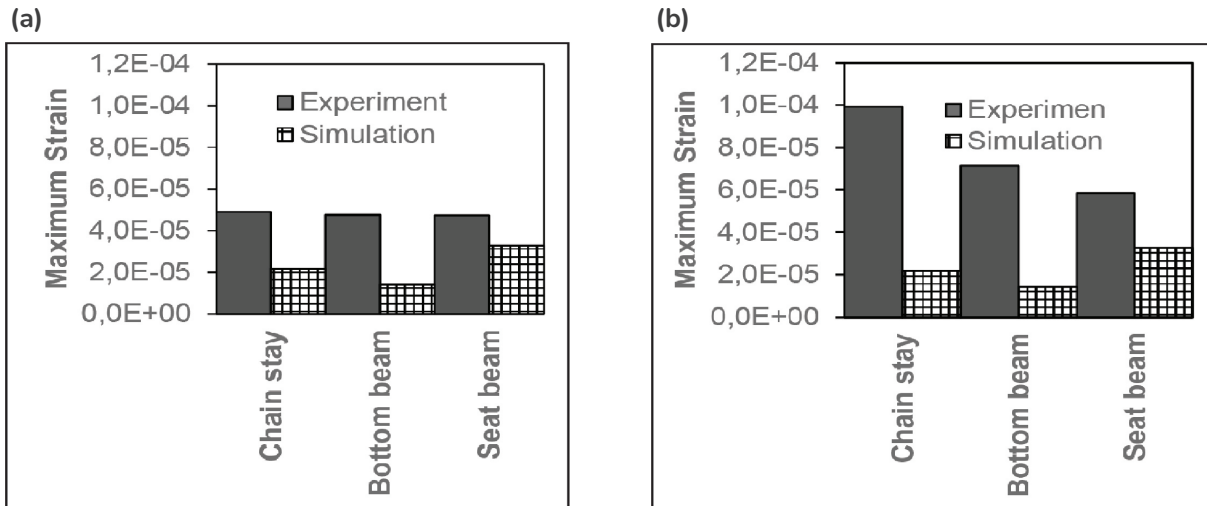
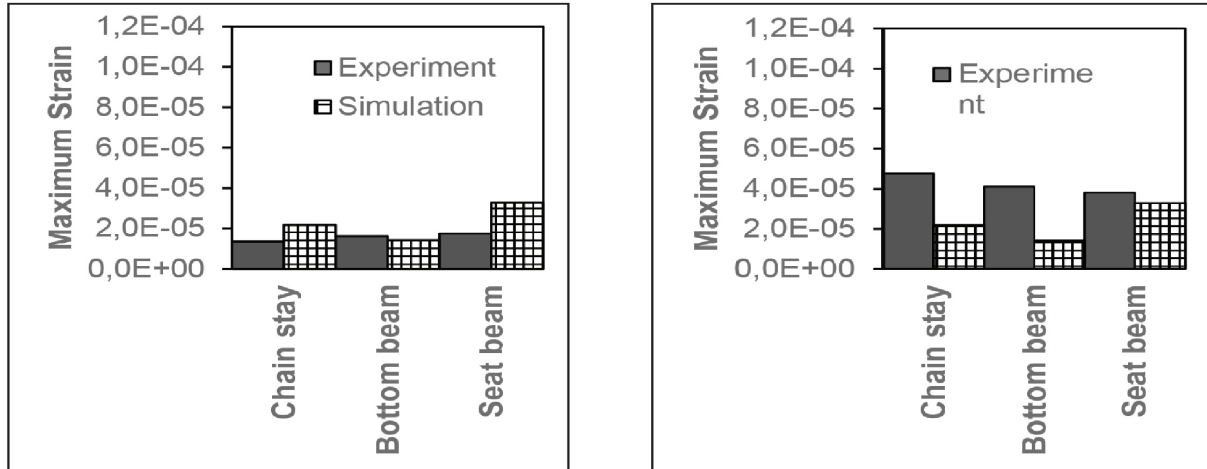
3.5 Hasil Sinyal Regangan pada Kondisi Jalan Menurun

Hasil sinyal regangan pada kondisi jalan menurun yang diperoleh dari tiga lokasi pengukuran antara lain: *chain stay*, *seat beam*, dan *bottom beam* seperti yang disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Sinyal regangan terhadap waktu pada kondisi jalan menurun, di lokasi: (a) *chain stay*, (b) *seat beam*, dan (c) *bottom beam*

Gambar 13(a) menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *chain stay* pada kondisi jalan menurun, dengan perubahan regangan yang dipantau selama dua puluh lima detik. Data menunjukkan bahwa perbedaan regangan maksimum terjadi pada interval waktu 5-10 detik, sedangkan perbedaan regangan minimum teramati pada interval 10-15 detik. Nilai maksimum regangan pada titik *chain stay* di kondisi jalan menurun tercatat sebesar $7,68 \times 10^{-5}$.



(a) (b) (c) (d) (e)]Gambar 14. Perbandingan *experiment* vs. *simulation*, road conditions: (a) asphalt, (b) gravel, (c) paving block, (d) uphill, and (e) downhill.]

Gambar 13(b) memperlihatkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *seat beam* pada kondisi jalan menurun. Perubahan regangan yang dipantau selama dua puluh lima detik menunjukkan perbedaan regangan maksimum terjadi pada interval 0-5 detik, sementara perbedaan regangan minimum terdeteksi pada interval 15-20 detik. Nilai maksimum regangan pada titik *seat beam* di kondisi jalan menurun adalah $5,33 \times 10^{-5}$. Gambar 13(c) menunjukkan sinyal regangan terhadap waktu di lokasi *bottom beam* pada kondisi jalan menurun. Data yang diperoleh selama dua puluh lima detik menunjukkan bahwa perbedaan regangan maksimum terjadi pada interval 0-5 detik, sedangkan perbedaan regangan minimum teramati pada interval 15-20 detik. Nilai regangan maksimum pada titik *bottom beam* di kondisi jalan menurun tercatat sebesar $4,25 \times 10^{-5}$.

Hasil perbandingan regangan maksimum, menunjukkan perbandingan antara semua nilai regangan maksimum dari semua pengujian pada rangka pelat (Gambar 15) dengan berbagai kondisi jalan. Nilai regangan dibandingkan dengan regangan maksimum pada rangka sepeda, dapat dilihat bahwa regangan maksimum yang terjadi pada rangka sepeda kota pelat yang di uji secara eksperimental memiliki nilai regangan maksimum pada *chain stay* sebesar $9,91 \times 10^{-5}$ pada jalan menanjak. Sedangkan untuk pengujian secara analisis nilai regangan pada *chain stay* sebesar $2,17 \times 10^{-5}$, *seat beam* sebesar $1,428 \times 10^{-5}$ dan pada *bottom beam* sebesar $3,283 \times 10^{-5}$. Nilai maksimum pada jalan aspal tidak terlalu berbeda jauh dengan yang lainnya sedangkan untuk pengujian FEM nilai lebih tinggi dari pada nilai yang di dapat dengan pegujian secara ekseperimental. Regangan merupakan rasio perubahan beberapa parameter panjang yang disebabkan oleh deformasi pada nilai asli dari parameter panjang yang bekerja sehingga adanya perubahan dimensi atau bentuk yang tidak memiliki satuan, regangan juga berpegaruh terhadap modulus young dari material properti yang digunakan (Iqbal *et al.* 2021). Hasil pengukuran sinyal regangan menunjukkan bahwa nilai maksimum regangan bervariasi tergantung pada kondisi jalan dan lokasi pengukuran. Kondisi jalan menanjak menghasilkan nilai regangan tertinggi di seluruh titik pengukuran, sementara jalan aspal memberikan nilai regangan terendah. Variasi regangan yang terdeteksi pada setiap kondisi jalan menunjukkan bahwa desain dan bahan dari rangka sepeda harus mempertimbangkan jenis dan kondisi permukaan jalan yang sering dilalui untuk memastikan kekuatan dan daya tahannya.

Penelitian mengenai evaluasi tegangan dan regangan pada rangka sepeda telah dilakukan dengan berbagai pendekatan metodologis (Regenwetter *et al.* 2023). Penggunaan material karbon untuk rangka sepeda dan menganalisisnya dengan metode Finite Element Analysis (Liu dan Wu 2010; Covill *et al.* 2014; Cahyono *et al.* 2017). Penelitian lain berfokus pada evaluasi kekuatan rangka sepeda listrik, dengan tujuan memastikan bahwa rangka tersebut dapat menahan beban secara efektif serta memberikan kenyamanan bagi pengguna (Meijaard *et al.* 2007; Lépine *et al.* 2015; Hung dan Lim, 2020). Analisis kekuatan rangka sepeda listrik ini menggunakan metode elemen hingga, yang penting untuk memastikan bahwa rangka dapat menopang beban keseluruhan serta memberikan hasil optimal dalam hal kekuatan dan kenyamanan (Zhang *et al.* 2015; Sani *et al.* 2016; Lin *et al.* 2017c; Bulej *et al.* 2022). Studi-studi ini menunjukkan pentingnya pendekatan berbasis simulasi dan evaluasi untuk menentukan kinerja struktural rangka sepeda di bawah berbagai kondisi beban, serta memberikan dasar untuk pengembangan desain yang lebih aman dan nyaman.

IV. KESIMPULAN

Dalam pengujian eksperimental, regangan maksimum pada rangka sepeda kota dengan pelat pada permukaan aspal terjadi pada *chain stay* sebesar $1,37 \times 10^{-5}$, pada *seat beam* sebesar $1,62 \times 10^{-5}$, dan pada *bottom beam*

sebesar $1,75 \times 10^{-5}$. Untuk permukaan jalan berbatu, regangan maksimum tercatat pada *chain stay* sebesar $4,75 \times 10^{-5}$, pada *seat beam* sebesar $4,10 \times 10^{-5}$, dan pada *bottom beam* sebesar $3,18 \times 10^{-5}$. Pada permukaan *paving block*, regangan maksimum pada *chain stay* mencapai $4,88 \times 10^{-5}$, pada *seat beam* $4,76 \times 10^{-5}$, dan pada *bottom beam* $4,73 \times 10^{-5}$. Sementara itu, pada jalan menanjak, regangan maksimum pada *chain stay* adalah $9,91 \times 10^{-5}$, pada *seat beam* $7,15 \times 10^{-5}$, dan pada *bottom beam* $5,86 \times 10^{-5}$. Pada jalan menurun, regangan maksimum pada *chain stay* sebesar $7,68 \times 10^{-5}$, *seat beam* $5,33 \times 10^{-5}$, dan *bottom beam* $4,25 \times 10^{-5}$. Analisis tegangan, regangan, dan perpindahan akibat beban statis menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian dalam *chain stay* dengan nilai sebesar 99,29 MPa. Regangan maksimum pada rangka juga terjadi pada area yang sama dengan nilai sebesar $4,218 \times 10^{-4}$. *Displacement* maksimum terdeteksi pada *saddle tube* sebesar 0,6306 mm, serta *displacement* tertinggi pada daerah drop out. Mengingat nilai *yield strength* baja A36 adalah 250 MPa, hasil simulasi *finite element* menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan pada beban ini masih jauh di bawah batas luluh tersebut, sehingga desain baru rangka sepeda kota ini aman untuk diaplikasikan pada kondisi beban yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajovalasit A, D'Acquisto L, Fracapane S, Zuccarello B. 2007. Stiffness and reinforcement effect of electrical resistance strain gauges. *Strain*, 43(4):299-305.
- Akhyar A, Husaini H, Hasanuddin I, Ahmad F. 2019. Structural simulations of bicycle frame behaviour under various load conditions. *Materials Science Forum*, 961:137-147.
- Akhyar A, Husaini H, Ali M, Ali N, Ahmad F. 2020. Effect of different gating systems and sand mold binder on the cast-quality of bicycle frame produced through sand casting method. *Defect and Diffusion Forum*, 402:100-107.
- Ansariyar A, Sadeghvaziri E, Jeihani M. 2022. Systematic review of bike simulator studies. *Journal of Science and Cycling*, 11(1):5-29.
- Bathias C, Pineau A. 2013. *Fatigue of Materials and Structures*. Wiley, USA.
- Benedetti M, du Plessis A, Rithcie RO, Dallago M, Razavi N, Berto F. 2021. Architected cellular materials: A review on their mechanical properties towards fatigue-tolerant design and fabrication. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 144: 100606.
- Bulej V, Kuric I, Saga M, Vasco M, Sagova Z, Bartos M, Legutko S. 2022. Analysis of symmetrical/asymmetrical loading influence of the full-suspension downhill bicycle's frame on the crack failure formation at a critical point during different driving scenarios and design improvement, *Symmetry*, 14(2):255.
- Cahyono SI, Anwar M, Diharjo K, Triyono T, Hapid A, Kaleg S. 2017. Finite element analysis of electric bicycle frame geometries. *AIP Conference Proceeding*, 1788: 030084
- Corigliano P, Crupi V. 2022. Review of fatigue assessment approaches for welded marine joints and structures. *Metals*, 12(6):1010.
- Corno M, Panzani G, Catenaro E, Savaresi SM. 2021. Modeling and analysis of a bicycle equipped with in-wheel suspensions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 155: 107548.
- Covill D, Begg S, Elton E, Milne M, Morris R, Katz T. 2014a. Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries. *Procedia Engineering*, 72:441-446.
- Covill D, Allard P, Drouet J-M, Emerson N. 2016. An assessment of bicycle frame behaviour under various load conditions using numerical simulations', *Procedia Engineering*, 147: 665-670.

- Dvořák M, Ponizil T, Kulisek V, Schimidova N, Doubrava K, Kropik B, Rucicka M. 2022. Experimental development of composite bicycle frame. *Applied Sciences*, 12(16):8377.
- Fries T, Belytschko T. 2010. The extended/generalized finite element method: An overview of the method and its applications. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 84(3): 253-304.
- Gao J, Sha A, Huang Y, Liu Z, Hu L, Jiang W, Yun D, Tong Z. 2019. Cycling comfort on asphalt pavement: Influence of the pavement-tyre interface on vibration. *Journal of Cleaner Production*, 223: 323-341.
- Hung NB, Lim O. 2020. A review of history, development, design and research of electric bicycles. *Applied Energy*, 260: 114323.
- Husaini H, Putra F, Syahriza S, Akhyar A. 2023. Stress and strain analysis of UAV hexacopter frame using finite element method. *AIP Conference Proceeding*, 2613: 020005.
- Iqbal I, Ali N, Husin H, Akhyar A, Khairil K, Farhan A. 2021. FAE analysis of boat propeller with differences of loading conditions and manufacturing by casting process. *Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME)*: 339-351.
- Lépine J, Champoux Y, Drouet J-M. 2015. The relative contribution of road bicycle components on vibration induced to the cyclist. *Sports Engineering*, 18(2):79-91.
- Lin C-C, Huang S-J, Liu C-C. 2017a. Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12):168781401773951.
- Lin C-C, Huang S-J, Liu C-C. 2017b. Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12): 168781401773951.
- Lin C-C, Huang S-J, Liu C-C. 2017c. Structural analysis and optimization of bicycle frame designs. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12):168781401773951.
- Lin C-C, Luh D-B. 2009. A vision-oriented approach for innovative product design., *Advanced Engineering Informatics*, 23(2): 191-200.
- Liu TJ-C, Wu H-C. 2010. Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate. *Materials & Design*, 31(4): 1971-1980.
- Markou G, Papadrakakis M. 2015. A simplified and efficient hybrid finite element model (HYMOD) for non-linear 3D simulation of RC structures. *Engineering Computations*, 32(5):1477-1524.
- Meijaard JP, Papadopoulos JM, Ruina A, Schwab AL. 2007. Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: A benchmark and review. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463(2084):1955-1982.
- Miles P, Archibald M. 2013. Experimental investigation of bicycle frame FEA models. *Conference: ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*: DOI:10.1115/IMECE2013-62255
- Mortazavi P, Kwon O-S, Christopoulos C. 2022. Four-element pseudodynamic hybrid simulation of a steel frame with cast steel yielding connectors under earthquake excitations, *Journal of Structural Engineering*, 148(2):0003232.
- Mourtzis D, Doukas M, Bernidaki D. 2014. Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia CIRP*, 25: 213-229.
- Ni Z, Cheng W, Wang Y, Luo Y, Zhang X, Kang Z. 2024. Topology optimization of two-scale hierarchical structures with high-cycle fatigue resistance. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 430: 117213.
- Racic V, Pavic A, Brownjohn JMW. 2009. Experimental identification and analytical modelling of human walking forces: Literature review. *Journal of Sound and Vibration*, 326(1-2): 1-49.

- Regenwetter L, Weaver C, Ahmed F. 2023. FRAMED: An AutoML approach for structural performance prediction of bicycle frames', *Computer-Aided Design*, 156: 103446.
- Rose G. 2012. E-bikes and urban transportation: emerging issues and unresolved questions. *Transportation*, 39(1): 81-96.
- Sani MSM, Nazri NA, Zahari SN, Abdullah NAZ, Priyandoko G. 2016. Dynamic study of bicycle frame structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160: 012009.
- Suppavitnarm A, Parks GT, Shea K, Clarkson PJ. 2004a. Conceptual design of bicycle frames by multiobjective shape annealing. *Engineering Optimization*, 36(2):165-188.
- Wikarta A, Tambun WET. 2021. Fatigue simulation with pedalling load and vertical load for city bike frame following British standard EN 14764. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034(1):012013.
- Zerbst W, Bruno G, Buffière JY, Wegener T, Niendorf T, Wu T, Zhang X, Kashaev W, Meneghetti W, Hrabe N, Madia M, Werner T, Hilgenberg K, Koukolíková M, Procházka R, Džugan J, Möller B, Beretta S, Evans A, Wagener R, Schnabel K. 2021. Damage tolerant design of additively manufactured metallic components subjected to cyclic loading: State of the art and challenges. *Progress in Materials Science*, 121:100786.
- Zhang L, Xiang Z, Luo H, Zhang GT. 2015. Test verification and design of the bicycle frame parameters. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 28(4):716-725.

EKSTRAKSI HIPOFISA SAPI SEBAGAI LIMBAH RUMAH POTONG HEWAN UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TERNAK

Tongku Nizwan Siregar^{1*}, Cut Intan Novita², Hafizuddin¹, Husnurrizal¹, Arman Sayuti³, Teuku Armansyah⁴, Amalia Sutriana⁴, Sri Wahyuni⁵

¹Laboratorium Reproduksi Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

³Laboratorium Klinik Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

⁴Laboratorium Farmakologi Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia,

⁵Laboratorium Anatomi Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Penulis korespondensi: siregar@usk.ac.id

RINGKASAN

Tulisan menguraikan pemanfaatan hipofisa sapi sebagai limbah rumah potong hewan (RPH) dalam meningkatkan produktivitas ternak dan menguji kemampuan dan protokol pemberian melalui uji pada hewan model. Ekstrak hipofisa yang digunakan telah diketahui memiliki kandungan utama yaitu *follicle stimulating hormone* (FSH) dan *luteinizing hormone* (LH). Kedua hormon ini memiliki fungsi vital dalam reproduksi. Ketidakseimbangan kedua hormon ini merupakan penyebab terjadinya gangguan reproduksi. Peneliti pada Fakultas Kedokteran Hewan bekerja sama dengan fakultas lain di lingkungan Universitas Syiah Kuala telah beberapa kali menguji implementasi ekstrak hipofisa melalui beberapa sumber dana riset untuk meningkatkan performa kambing lokal, transfer embrio pada sapi aceh, medium vitrifikasi, dan penggunaan hewan model untuk menetapkan protokol perlakuan yang optimal. Dari beberapa riset tersebut telah berhasil meningkatkan performa kambing lokal yang ditandai dengan peningkatan jumlah anak per kelahiran, meningkatkan jumlah ovulasi, meningkatkan kualitas oosit yang ovariumnya divitrifikasi, dan penetapan protokol untuk superovulasi pada hewan model. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah pemanfaatan limbah RPH dan menghasilkan pengganti preparat hormon komersial sehingga menjadi lebih ekonomis dan mudah didapat.

I. PENDAHULUAN

Kelenjar hipofisa merupakan limbah Rumah Potong Hewan (RPH) yang biasanya dibuang bersama dengan tulang tengkorak setelah pemotongan hewan. Beberapa metode untuk ekstraksi hipofisa sudah dilakukan untuk mendapat konsentrasi hormon dan sumber hipofisa terbaik (Novita *et al.* 2024a). Meskipun metode ekstraksi

sederhana menghasilkan konsentrasi FSH dan LH yang lebih rendah dibandingkan metode lainnya, namun metode ini lebih disukai mengingat prosedur pengerjaannya yang relatif lebih mudah dan sederhana sedangkan sumber hipofisa dari sapi lebih disukai dibandingkan hipofisa kambing karena morfometrinya yang lebih besar. Kandungan utama yang diinginkan dari ekstrak hipofisa adalah hormone *follicle stimulating hormone* (FSH) dan *luteinizing hormone* (LH) meskipun terdapat beberapa hormon lain yang terkandung di dalamnya yakni *growth hormone* (GH), *adrenal corticotropic hormone* (ACTH), *thyroid somatotropic hormone* (TSH), dan *lipogenic hormone* (Isnaini *et al.* 1999). Kandungan hormon FSH dan LH pada hipofisa sapi yang diekstraksi dengan metode sederhana masing-masing adalah $40,355 \pm 20,75$ dan $10,257 \pm 5,74$ mIU/mg (Novita *et al.* 2024a).

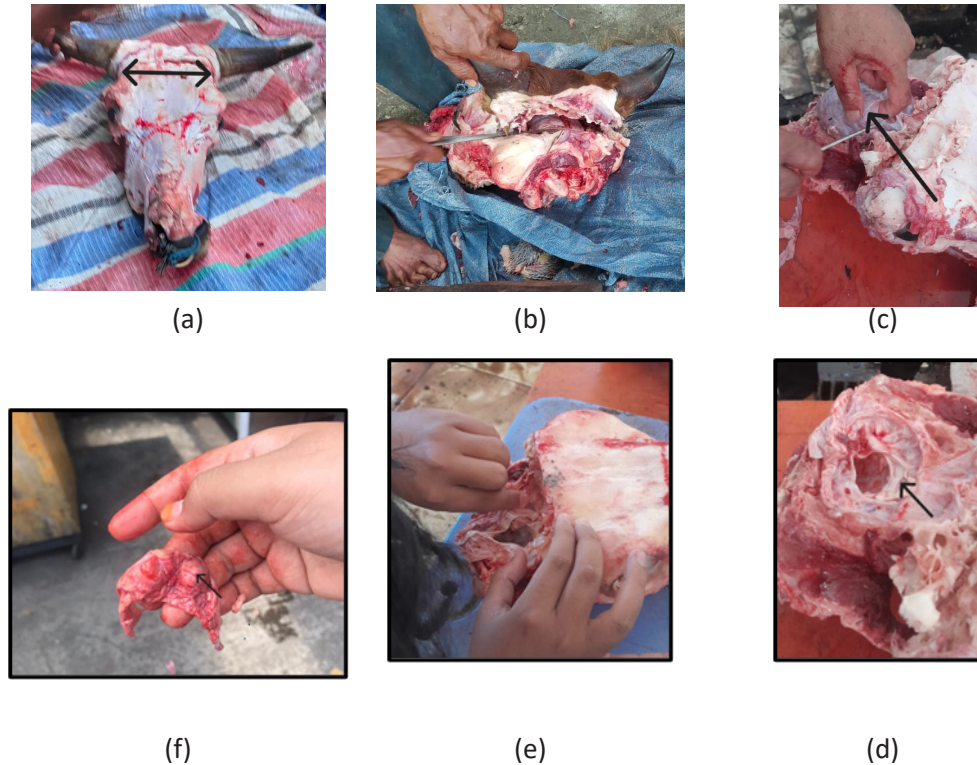
Kandungan hormon FSH dan LH yang tinggi di dalam ekstrak hipofisa telah dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas ternak maupun studi yang berkaitan dengan itu melalui penggunaan hewan model pada Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Pada kambing lokal, ekstrak hipofisa telah digunakan dan mampu meningkatkan jumlah anak per kelahiran menjadi 1,25 (Siregar *et al.* 2013). Respon superovulasi yang ditandai dengan peningkatan jumlah korpus luteum dan embrio yang dikoleksi juga dapat ditingkatkan dengan pemberian ekstrak hipofisa (Arum *et al.* 2013). Penambahan media vitrifikasi dengan ekstrak hipofisa juga terbukti dapat meningkatkan jumlah dan kualitas oosit yang dihasilkan (Novita *et al.* 2024b). Pada hewan jantan, ekstrak hipofisa diduga dapat meningkatkan proses spermatogenesis melalui aksi yang menyerupai aksi FSH dan LH. Hormon FSH merupakan hormon gonadotropin utama yang memengaruhi proses spermatogenesis (Akmal *et al.*, 2015), sedangkan LH yang disekresikan oleh hipofisa anterior yang berperan mengontrol perkembangan *germ cell* dan menstimulasi sel Leydig untuk memproduksi testosteron. Selanjutnya LH dan FSH yang dihasilkan hipofisa anterior akan menstimulasi sel Leydig untuk mensekresikan testosteron serta merangsang pelepasan androgen oleh sel-sel interstitial untuk mematangkan spermatozoa (Andalusia *et al.*, 2008). Testosteron berperan membantu dalam proses pembentukan spermatozoa (Hasbi dan Gustina, 2018). Penggunaan ekstrak hipofisa pada hewan model dilakukan untuk menguji secara detail kemampuan ekstrak tersebut serta faktor-faktor yang menentukan keberhasilannya untuk dapat diimplementasikan pada ternak. Sayuti *et al.* (2022) telah menguji kemampuan ekstrak hipofisa pada kelinci lokal. Beberapa hal yang menjadi kekurangan dari hasil yang diperoleh telah dicoba diperbaiki oleh Hafizuddin *et al.* (2024). Pada saat ini Laboratorium Reproduksi Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh sedang melakukan riset terkait kemampuan ekstrak hipofisa untuk meningkatkan kualitas spermatozoa pada hewan model. Diharapkan di masa mendatang, ekstrak hipofisa ini dapat digunakan sebagai bahan untuk memperbaiki kualitas spermatozoa pada hewan jantan yang mengalami gangguan reproduksi.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

Konsep inovasi dalam pemanfaatan ekstrak hipofisa ini didasarkan atas kandungan utama yang terdapat di dalamnya yakni FSH dan LH. Kedua hormon ini berperan penting dalam regulasi reproduksi. Ketidakseimbangan kedua hormone ini, khususnya ketika terjadi penurunan, maka akan menyebabkan penurunan fertilitas. Konsep ini juga dipakai untuk meningkatkan jumlah ovulasi dan kelahiran anak. Peningkatan jumlah ovulasi biasanya dikaitkan dengan kegiatan transfer embrio khususnya pada hewan beranak satu seperti sapi, sedangkan untuk hewan beranak banyak, seperti kambing, ditujukan untuk meningkatkan jumlah anak per kelahiran.

2.1 Produksi Ekstrak Hipofisa

Kelenjar hipofisa sapi aceh jantan diisolasi dari tengkorak setelah sapi disembelih. kepala sapi dibersihkan dari daging dan jaringan yang menempel, kemudian tengkorak bagian atas dibuka sehingga terlihat bagian otak besar. Selaput otak besar dibuka dan diangkat bersama-sama dengan otak kecil dan batang otak.



Gambar 1. Prosedur isolasi kelenjar hipofisa sapi. (a) kepala sapi yang telah dipisahkan kulit dan daging, (b) pemotongan bagian atas kepala, (c) pengangkatan otak besar, otak kecil dan batang otak, (d) kepala sapi yang telah dipisahkan otaknya (tanda panah menunjukkan lokasi *diaphragma sellae*), (e) penyayatan *diaphragma sellae*, (f) kelenjar hipofisa yang diperoleh.

Pada bagian yang telah diangkat otaknya terlihat selaput yang disebut *diaphragma sellae*. Bagian diafragma ini dipotong melingkar dengan hati-hati agar hipofisa tidak rusak. Kemudian diafragma diangkat beserta dengan kelenjar hipofisa yang menempel di bawahnya. Tahapan isolasi kelenjar hipofisa disajikan pada Gambar 1.

Hipofisa yang telah diisolasi dari sapi potong segera dimasukkan ke dalam botol sampel yang diisi dengan NaCl 0,9 fisiologis dan dimasukkan ke dalam termos untuk dibawa ke laboratorium. Kemudian hipofisa dibersihkan dari jaringan ikat dan dipisahkan dari selaput luar. Jika sudah terkumpul, kelenjar hipofisis dibersihkan dari jaringan ikat dan dipisahkan dari selaput luar. Setelah itu, kelenjar hipofisis diiris kecil-kecil dengan besar ± 1 mm dan ditumbuk menggunakan mortar sampai halus, kemudian ditambahkan aquades sebanyak 10 ml untuk setiap gram Kelenjar hipofisis dan selanjutnya disaring dengan kertas saring. Larutan yang diperoleh disentrifugasi dengan kecepatan 3.000 rpm selama 20 menit, kemudian supernatan yang ada pada larutan diambil. Supernatan hasil sentrifugasi merupakan ekstrak hipofisis dan disimpan dalam freezer sebelum digunakan (Isnaini *et al.* 1999).

2.2 Pola Perlakuan

2.3.1 Induksi Peningkatan Jumlah Kelahiran Kambing

Kambing diinjeksi dengan ekstrak hipofisa pada hari ke-9, 10, dan 11 siklus berahi (hari ke-0 adalah hari ketika kambing menjadi estrus) dengan dosis menurun yakni, 2; 1; dan 0,5 ml secara intramuskuler pada beberapa titik lokasi penyuntikan yang diikuti dengan penyuntikan 7,5 mg PGF2 α .

2.3.2 Induksi Peningkatan Jumlah Ovulasi dan Embrio pada Sapi Aceh

Pada hari ke-1 seluruh sapi yang telah diketahui mempunyai korpus luteum melalui pemeriksaan palpasi rektal diinjeksi dengan PGF2 α . Dua hari setelah penyuntikan seluruh sapi memperlihatkan gejala berahi. Hari ke-9 setelah berahi sapi diinjeksi dengan ekstrak hipofisa dengan dosis menurun yakni 10, 8, dan 6 ml. Dua puluh empat jam setelah penyuntikan ekstrak hipofisa terakhir, sapi diinjeksi kembali dengan PGF2 α . Observasi berahi secara visual dan dengan bantuan pejantan dilakukan satu hari setelah injeksi PGF2 α . Sapi diinseminasi pada saat puncak berahi (diam dinaiki pejantan) dan diulang 24 jam kemudian. Tujuh hari setelah inseminasi dilakukan koleksi embrio dengan metode *non-surgical*. Sebelum koleksi dilakukan penghitungan jumlah korpus luteum pada ovarium masing-masing sapi menggunakan teknik eksplorasi rektal.

2.3.3 Induksi Peningkatan Performa Reproduksi pada Hewan Model

Uji coba pada hewan model yakni kelinci pertama sekali dilakukan oleh Sayuti *et al.* (2022) dengan memberikan suntikan ekstrak hipofisa dengan dosis menurun selama tiga hari yakni 1,0; 0,5; dan 0,3 ml. Pola perlakuan seperti ini mendapatkan hasil yang belum memuaskan sehingga pola perlakuan kemudian diubah oleh Hafizuddin *et al.* (2024) mengikuti pola pemberian FSH pada kelinci yakni diinjeksi dengan ekstrak hipofisa selama lima kali dengan interval 12 jam yakni 1 ml (injeksi ke-1); 0,5 ml (injeksi ke-2); 0,5 ml (injeksi ke-3); 0,5 ml (injeksi ke-4); dan 0,3 ml (injeksi ke-5).

2.3.4 Penambahan Ekstrak Hipofisa Sapi dalam Media Vitrifikasi

Medium vitrifikasi yang umum digunakan ada;aj 1 ml PBS + sukrosa 0,5 M + 30% krioprotektan EG. Pada medium ini ditambahkan 30 μ g/ml ekstrak hipofisa sapi yang telah diketahui konsentrasi FSH dan LH yakni masing-masing 60 IU/ml. Waktu vitrifikasi yang diuji adalah 0 hari, 7 hari dan 14 hari.

III. HASIL/TEMUAN

3.1 Peningkatan Jumlah Ovulasi dan Jumlah Anak Per Kelahiran

Pemberian ekstrak hipofisa sapi pada kambing lokal dengan selama tiga hari dengan volume masing-masing 2; 1; dan 0,5 ml terbukti dapat meningkatkan jumlah rerata jumlah anak per kelahiran menjadi 1,25 kambing dibandingkan dengan kelompok tanpa pemberian ekstrak hipofisa sapi dengan rerata jumlah anak kelahiran yakni satu kambing. Peningkatan jumlah anak per kelahiran ini disebabkan induksi dengan ekstrak hipofisa sapi menyebabkan peningkatan jumlah folikel yang berkembang dan ovulasi. Peningkatan jumlah anak yang dilahirkan berkaitan dengan kandungan FSH dan LH yang terdapat dalam ekstrak hipofisa sapi. Hormon FSH dan LH bertanggungjawab untuk meningkatkan jumlah folikel yang berkembang dan ovulasi. Setiap satu folikel yang ovulasi akan melepaskan satu oosit (sel telur) yang jika berhasil difertilisasi oleh sperma akan bertumbuh dan berkembang menjadi satu individu baru. Jika jumlah ovulasi meningkat, ini bermakna jumlah oosit yang

dilepaskan lebih banyak. Jika oosit tersebut difertilisasi dengan baik oleh sperma, maka akan lebih banyak individu baru yang terbentuk. Meskipun hasil yang diperoleh masih sedikit lebih rendah dibandingkan dengan induksi ovulasi dan kelahiran jamak menggunakan *hormone pregnant mare serum gonadotropin* (PMSG) seperti yang disajikan pada Tabel 1, namun peluang ekstrak hipofisa sapi untuk menghasilkan luaran yang sama dengan PMSG masih terbuka mengingat penetapan dosis optimal belum dilakukan. Hormon PMSG adalah hormon komersial yang aktivitasnya menyerupai FSH dan LH.

Tabel 1. Rerata jumlah anak per kelahiran pada kambing lokal yang diinduksi dengan ekstrak hipofisa sapi

Parameter	PGF2 α	PMSG	Ekstrak hipofisa anterior
Jumlah sampel	5	5	5
Jumlah anak per kelahiran	1	1,5	1,25

Setelah terjadi peristiwa ovulasi (lepasnya sel telur), maka pada tempat ovulasi tersebut akan terbentuk korpus luteum. Jumlah korpus luteum yang terbentuk mengindikasikan jumlah sel telur yang berhasil dilepaskan sehingga efek pemberian ekstrak hipofisa sapi dapat diketahui dari jumlah korpus luteum yang dihasilkan. Pada program transfer embrio, jumlah korpus luteum dijadikan penanda jumlah embrio yang akan dikoleksi. Secara umum, untuk meningkatkan jumlah embrio pada program transfer embrio dilakukan dengan penggunaan FSH atau PMSG.

Penggunaan ekstrak hipofisa sapi untuk menggantikan fungsi PMSG atau FSH sudah dilakukan pada sapi aceh dengan hasil yang memuaskan. Normalnya, sapi hanya akan menghasilkan satu korpus luteum setiap ovulasi. Rerata jumlah korpus luteum yang dihasilkan setelah pemberian ekstrak hipofisa sapi adalah empat.

3.2 Pemanfaatan Ekstrak Hipofisa Sapi pada Hewan Model

Hasil-hasil yang diperoleh sebelumnya pada ternak masih terbuka peluang ditingkatkan melalui penggunaan hewan model. Jumlah ovulasi dan jumlah anak yang dihasilkan yakni masing-masing pada kambing lokal dan sapi aceh masih belum mampu menetapkan pola perlakuan dan dosis optimal penggunaan ekstrak hipofisa sapi.

Riset awal penggunaan ekstrak hipofisa sapi pada hewan model telah dilakukan Sayuti *et al.* (2022) dengan hasil-hasil yang belum optimal. Respons yang diukur meliputi jumlah korpus luteum dan konsentrasi hormon steroid (estrogen dan progesteron). Pola perlakuan yang dilakukan dengan cara memberikan ekstrak hipofisa selama tiga kali dengan interval 24 jam dengan dosis menurun. Pola ini kemudian diperbaiki oleh Hafizuddin *et al.* (2024) dengan mengikuti protokol pemberian FSH pada kelinci yakni lima kali pemberian dengan interval 12 jam dan dengan dosis menurun. Hasil yang diperoleh ditandai dengan peningkatan respons ovulasi dan peningkatan jumlah implantasi seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata respons ovulasi dan titik implantasi kelinci lokal yang diinduksi dengan ekstrak hipofisa sapi

Parameter	Perlakuan		
	Kontrol	FSH	Ekstrak hipofisa sapi
Jumlah folikel	13,00 \pm 1,00	48,23 \pm 19,54	44,33 \pm 28,57
Jumlah korpus luteum	6,00 \pm 5,29	18,7 \pm 7,8	21,00 \pm 3,00
Jumlah titik implantasi	3,21 \pm 1,34	11,7 \pm 4,7	12,3 \pm 3,5

3.3 Pemanfaatan Ekstrak Hipofisa sebagai Media untuk Preservasi Ovarium

Vitrifikasi merupakan teknik penyimpanan beku yang dapat diterapkan agar ovarium dapat dipergunakan tanpa dibatasi oleh kendala jarak dan waktu. Ovarium sebagai sumber oosit yang diperoleh dari Rumah Potong Hewan beberapa jam. Penyimpanan ovarium pada kondisi yang tepat sebelum diproses untuk *fertilisasi in vitro* sangat diperlukan.

Selama vitrifikasi diperlukan suatu lingkungan yang mendukung untuk memproteksi folikel sehingga terjadi penurunan jumlah folikel yang mati. Hormon FSH berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan folikel, terutama sebagai antiapoptosis sel granulosa folikel. Penambahan FSH dalam media vitrifikasi membuktikan dapat mempertahankan kualitas folikel. Hormon gonadotropin lain yang juga turut berperan dalam pemeliharaan folikel adalah LH dan telah terbukti dapat mempertahankan fungsi ovarium yang divitrifikasi.

Pemanfaatan ekstrak hipofisa sebagai sumber hormon gonadotropin dalam sikronisasi estrus dan superovulasi telah dilakukandan terbukti memiliki potensi yang cukup besar sebagai sumber hormon gonadotropin alternatif. Pemanfaatan ekstrak hipofisa dalam media vitrifikasi telah dilakukan oleh periset pada Universitas Syiah Kuala (Novita *et al.* 2024b) dengan hasil seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata jumlah folikel pada masing-masing fase perkembangan pada ovarium yang divitrifikasi dengan penambahan 30 µg/ml ekstrak hipofisa sapi (EHS) dengan lama vitrifikasi yang berbeda

Stadium	0 hari		7 hari		14 hari	
	Kontrol (n=5)	EHS (n=5)	Kontrol (n=5)	EHS (n=5)	Kontrol (n=5)	EHS (n=5)
Folikel primordial	62,74±0,89	75,75±1,29	62,14±3,28	69,84±5,98	62,08±18,25	72,72±5,67
Folikel primer	57,0±0,87	60,36±0,10	61,81±9,45	71,68±8,27	45,62±15,9	65,78±7,17
Folikel sekunder	22,7±6,39	62,5±3,46	38,98±9,46	64,78±12,16	32,58±14,17	51,78±22,33
Folikel antral	42,85±1,64	60,0±5,77	21,42±5,77	50,0±9,62	33,33±19,24	66,67±9,62

EHS: ekstrak hipofisa sapi

Secara keseluruhan, terbukti bahwa penambahan ekstrak hipofisa sapi dalam medium vitrifikasi mampu meningkatkan jumlah folikel utuh pada setiap fase perkembangan folikel. Kemampuan ekstrak hipofisa sapi ini sejalan dengan penambahan FSH dalam medium vitrifikasi. Diduga bahwa kemampuan meningkatkan *survival rate* folikel ini berkaitan dengan hambatan *autophagy* yang berlebihan yang disebabkan stres oksidatif seperti halnya kemampuan yang dilakukan oleh FSH.

KESIMPULAN

Ekstraksi hipofisa sapi secara sederhana dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas ternak yang ditandai dengan peningkatan jumlah anak per kelahiran pada kambing lokal dan peningkatan jumlah korpus luteum dan embrio sapi aceh yang merupakan bagian paling penting dalam program transfer embrio. Penambahan ekstrak hipofisa sapi dalam medium vitrifikasi terbukti mampu mempertahankan keutuhan folikel sebagai tempat oosit (sel telur) dari hasil preservasi ovarium. Observasi ovarium ini dibutuhkan untuk menjamin oosit tetap dalam

keadaan baik untuk difertilisasi secara *in vitro*. Penetapan protokol pemanfaatan ekstrak hipofisa sapi untuk meningkatkan performa reproduksi ternak telah dilakukan melalui beberapa tahapan riset pada hewan model kelinci dan diketahui bahwa hasil terbaik adalah mengikuti protokol pemberian FSH.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal M, Aulanni'am, Widodo MA, Sumitro SB, Purnomo BB, Siregar TN, Hambal M, Amiruddin, Syafruddin, Aliza D, Sayuti A, Adam M, Armansyah T, Rahmi E. 2015. Inhibin B menurunkan konsentrasi *follicle stimulating hormone* (FSH) pada tikus putih (*Rattus norvegicus*): upaya pengembangan kontrasepsi hormon pria berbasis peptida. *Jurnal Kedokteran Hewan*, 9(1):42-45.
- Andalusia R, Mubarak AS, Dhamayanti Y. 2008. Respons pemberian ekstrak hipofisa ayam broiler terhadap waktu latensi, keberhasilan pembuahan dan penetasan pada pemijahan ikan komet (*Carassius auratus auratus*). *Berkah Ilmiah Perikanan*, 3(1):21-27.
- Arum WP, Siregar TN, Melia J. 2013. The effect of bovine pituitary extract on superovulatory response of aceh cattle. *Jurnal Medika Veterinaria*, 7(2):71-74
- Hafizuddin, Wahyuni S, Siregar TN, Sutriana A, Triyuliani R, Herviani SH, Syuhada MF, Salimah N, Eriswandi MM, Ayu RP, Nufus PH. 2024. Ovarian and hormonal responses of local rabbits after superovulation induction with bovine pituitary extract. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(8):1539-1547.
- Hasbi H, Gustina S. 2018. Regulasi androgen dalam spermatogenesis untuk meningkatkan fertilitas ternak jantan. *Wartazoa*, 28(1):13-22.
- Isnaini N, Wahjuningsih S, Ciptadi G. 1999. In vitro maturasi oosit sapi dalam TCM-199 yang disuplementasi dengan ekstrak hipofisa sapi. *Jurnal Saintek*, 7(1):75-85.
- Novita I, Siregar TN, Karja NWK, Eriani K, Aru AR, Delima M, Latif H, Mariana E, Gaznur ZM. 2024a. Follicle stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH) concentrations of bovine pituitary extract extracted by different methods. *Technological Innovations in Tropical Livestock Development for Environmental Sustainability and Food Security*, www.taylorfrancis.com, CC BY-NC-ND 4.0 license
- Novita CI, Eriani K, Sutriana A, Siregar TN, Karja NWK. 2024a. Quality of Aceh cattle ovaries added with bovine pituitary extract in the vitrification medium. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(4): 624-628.
- Sayuti A, Hamdan H, Jannah M, Safriadi S, Nasri T, Siregar, TN. 2022. Superovulation induction with bovine pituitary extract in local rabbits. *Punjab University of Journal Zoology*, 37(1):29-34.
- Siregar TN, Siregar IK, Armansyah T, Syafruddin, Sayuti A, Hamdani. 2013 The reproductive performance of local does following induced superovulation with cattle pituitary extracts. *Jurnal Veteriner*, 14(1):91-98.

INOVASI PREDIKSI *DEMAND* PERJALANAN TRANSPORTASI DENGAN PENGEMBANGAN MODEL DISAGREGAT HIBRIDA BERBASIS PERILAKU PERJALANAN

Sugiarto Sugiarto^{1*}, Roudhia Rahma²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Penulis korespondensi: sugiarto@usk.ac.id

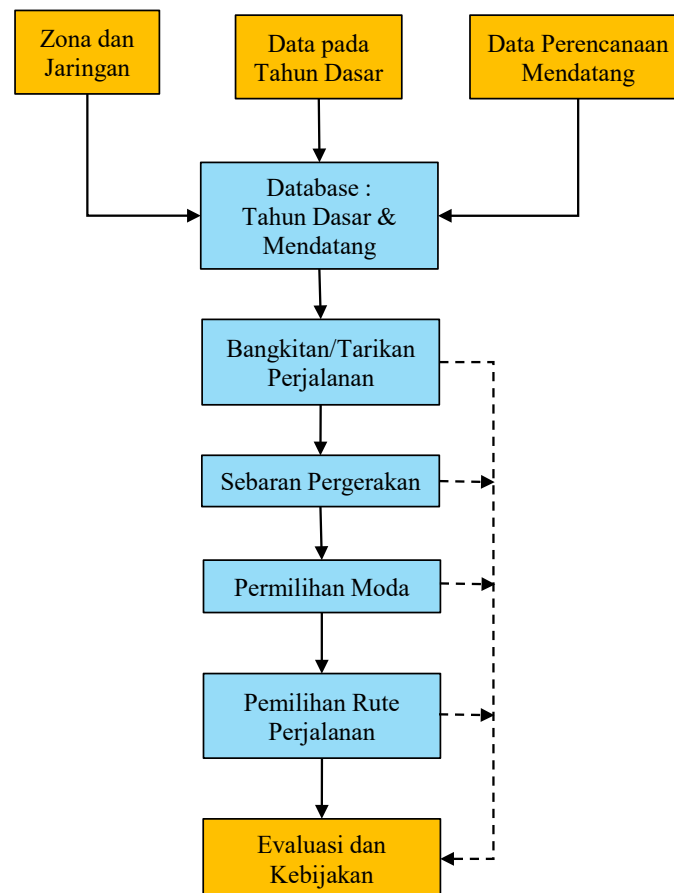
RINGKASAN

Kompleksnya perilaku perjalanan transportasi di level individual membuat tantangan yang serius dalam analisis data perjalanan transportasi sehingga metode analisis mampu mengurangi bias antara *demand* yang diprediksi dan aktualnya. Prediksi permintaan perjalanan merupakan komponen utama untuk analisis kebijakan transportasi seperti studi kelayakan, perencanaan jaringan jalan, perencanaan moda transportasi, dan berbagai kebijakan transportasi. Prediksi *demand* transportasi umumnya dibedakan berdasarkan karakteristik perilaku perjalanan dari individual. Pergerakan diasumsikan homogen dan memiliki sebaran yang sama dari suatu asal tujuan transportasi maka pendekatan ini merupakan pendekatan agregat dan umumnya menggunakan zona sebagai asal dan tujuan transportasinya. Pergerakan disagregat merupakan pergerakan asal tujuan transportasi berdasarkan perilaku individual dan diasumsikan heterogen antar individual. Inovasi model disagregat hibrida mengacu pada perilaku pergerakan dari asal-tujuan transportasi dengan memilih alternatif moda transportasi yang memberikan tingkat kepuasan tertinggi dan mengakomodir variabel *intangible* dari individual. Inovasi ini dikembangkan dengan mengakomodir data perilaku perjalanan diskrit dan kontinu. Kerangka umum pilihan diskrit hibrida memiliki model dua tahap yang terdiri atas dua komponen pemodelan sekuensial yaitu model variabel laten menggunakan model persamaan struktural berbasis kovariat dan model pilihan kontinu atau diskrit. Model ini umumnya digunakan untuk menggali lebih dalam informasi perilaku terkait persepsi psikologis pelaku perjalanan. Inovasi model pemilihan diskrit/kontinu hibrida lebih akurat dalam memprediksi pola dan jumlah pergerakan, sehingga perencanaan transportasi dalam jangka menengah dan panjang mampu dianalisis lebih komprehensif.

I. PENDAHULUAN

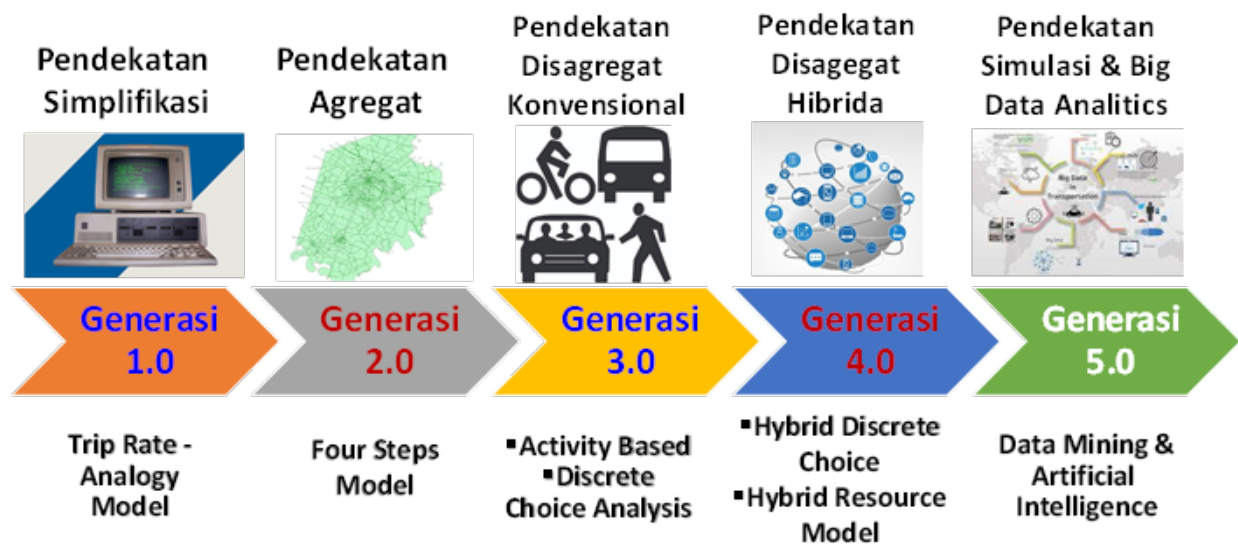
Pertumbuhan ekonomi dan naiknya kepemilikan kendaraan pribadi menjadikan faktor dominan masyarakat tergantung pada moda pribadi seperti mobil dan roda dua. Darurat ketergantungan moda pribadi mengakibatkan

dampak negatif pada sistem transportasi perkotaan seperti kemacetan dan dampaknya (eksternalitas). Dampak kemacetan secara langsung adalah kerugian ekonomi wilayah kota yang disebabkan dari aspek naiknya waktu tempuh perjalanan, naiknya konsumsi bahan bakar, kerugian lingkungan (emisi dan kebisingan). Hal ini bukan hanya terjadi di Jakarta (Sugiarto *et al.* 2017a; Sugiarto *et al.* 2017b) namun juga di kota Banda Aceh (Saleh *et al.* 2019a; Saleh *et al.* 2019b; Sugiarto *et al.* 2019) sehingga upaya mitigasi kemacetan dan eksternalitasnya menjadi isu penting dan prediksi pergerakan transportasi menjadi isu krusial dalam analisis kebijakan sistem transportasi. Seiring dengan kompleksnya perilaku perjalanan (*travel behavior*) transportasi di level individual, maka analisis data perjalanan transportasi perlu disesuaikan dengan metode analisis yang dapat mengurangi bias antara *demand* yang diprediksi (*predicted*) dan realitasnya (*observed*). Prediksi permintaan perjalanan (*demand forecasting*) merupakan komponen utama untuk analisis kebijakan transportasi seperti studi kelayakan, perencanaan jaringan jalan, perencanaan moda transportasi, dan berbagai kebijakan transportasi. Menurut Ortuzar dan Willumsen (2011) prediksi *demand* transportasi menjadi hal terpenting dalam perencanaan dan formulasi kebijakan sistem transportasi, yakni prediksi *demand* dibedakan menjadi dua pendekatan, yaitu pendekatan agregat dan disagregat. Pendekatan agregat seperti *trip rate analysis* dan model empat tahap (*four steps model*) seperti yang disajikan pada Gambar 1. Pendekatan ini dikatakan model agregat dikarenakan berbasis pada perilaku perjalanan suatu zona bangkitan dan tarikan (*zoning*) perjalanan transportasi. Model ini dikembangkan di era 1950 ketika permintaan perjalanan transportasi diasumsikan mengikuti fenomena linear. Menurut Flyvbjerg *et al.* (2005) prediksi *demand* pada perencanaan kereta api *overestimate* 67% dari aktualnya, dan lebih dari 50% prediksi *demand* pada perencanaan jalan terjadi jika menggunakan metode agregat.



Gambar 1. Konsep model agregat empat tahap

Pada era 1980-an sejak pendekatan disagregat konvensional ditemukan, permintaan perjalanan cenderung sebagai preferensi dari aktivitas individual dan mengikuti fenomena nonlinier. Pendekatan disagregat terdiri atas disagregat konvensional dan hibrida. Sugiarto (2020) dan Sugiarto (2021) menyimpulkan bahwa perkembangan teknologi telah memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan model analisis permintaan perjalanan transportasi. Hingga era digital 4.0 perkembangan teknologi informasi telah mengantarkan perkembangan teknologi analisis permintaan perjalanan transportasi ke generasi ke lima, yaitu pendekatan *big data analytics* dan *artificial intelligent*. Pertumbuhan pengembangan teknologi analisis permintaan perjalanan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perkembangan teknologi analisis *demand forecasting*

Prediksi *demand* transportasi umumnya dibedakan berdasarkan karakteristik perilaku perjalanan dari individual. Jika pergerakan diasumsikan homogen dan memiliki sebaran yang sama dari suatu asal tujuan transportasi maka pendekatan ini merupakan pendekatan agregat dan umumnya menggunakan zona sebagai asal dan tujuan transportasinya sedangkan pergerakan disagregat merupakan pergerakan asal tujuan transportasi berdasarkan perilaku individual dan diasumsikan heterogen antar individual. Model disagregat merupakan model generasi ketiga dan dikembangkan menjadi model hibrida pada generasi ke empat yang berdasarkan konsep perilaku perjalanan individual. Individu akan melakukan pergerakan dari asal-tujuan transportasi dengan memilih alternatif moda transportasi yang memberikan tingkat kepuasan tertinggi (Sugiarto *et al.* 2017a; Sugiarto *et al.* 2018). Penerapan model disagregat untuk mengkaji perilaku individual terhadap kebijakan Trans Koetaradja dilakukan oleh Saleh *et al.* (2019a) dan Saleh *et al.* (2019b). Sugiarto *et al.* (2017b) mengimplementasikan model disagregat untuk mengkaji pergerakan dan kelayakan kebijakan *road pricing* di Jakarta.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Inovasi Konseptual Model

Disagregat model dibangun berdasarkan teori perilaku rasional dalam pengambilan keputusan pergerakan

transportasi, yaitu individual selalu memilih alternatif pilihan transportasi berdasarkan kepuasan alternatif pilihan (*utilitas*). Alternatif pilihan diwakili oleh atribut alternatif moda seperti tiket/biaya, waktu tempuh, dan karakteristik sosial ekonomi individual seperti pendapatan, jenis kelamin, usia, pendidikan dan status sosial/pekerjaan (Sugiarto *et al.* 2017a; Tosa *et al.* 2018). Maka, pendekatan yang mampu mengakomodir kompleksnya atribut perilaku perjalanan diatas adalah pendekatan disagregat prediksi *demand*. Pemilihan perjalanan merupakan keputusan individual dan sebagai hasil interaksi atribut alternatif moda dan karakteristik sosial ekonomi pelaku perjalanan. Sebagai contoh, pada prediksi permintaan perjalanan dengan moda transportasi (set pilihan transportasi umum; mobil pribadi; motor), maka mengacu pada model disagregat merupakan model yang berdasarkan konsep perilaku yang rasional, yakni individu akan melakukan pergerakan dari asal-tujuan transportasi dengan memilih alternatif moda transportasi yang memberikan tingkat kepuasan (*utilitas*) tertinggi (Sugiarto *et al.* 2017a; Sugiarto *et al.* 2018). Penerapan model disagregat juga dapat digunakan untuk mengkaji efektivitas kebijakan transportasi. Efektivitas dan kelayakan terhadap kebijakan Trans Koetaradja dikaji dan dimodelkan dengan pendekatan disagregat (Saleh *et al.* 2019a; Saleh *et al.* 2019b). Sugiarto *et al.* (2017a) dan Sugiarto *et al.* (2017b) mengimplementasikan model disagregat untuk mengkaji pergerakan dan kelayakan kebijakan road pricing di Jakarta dan model ini memberikan fleksibilitas dan validitas model yang lebih baik. Atribut yang digunakan dalam pemilihan moda umumnya adalah variabel tampak (*tangible*) seperti tiket/biaya, waktu tempuh, karakteristik sosial ekonomi individual seperti pendapatan, jenis kelamin, usia, pendidikan dan status sosial/pekerjaan (Sugiarto *et al.* 2017a; Tosa *et al.* 2018).

Akibat tingginya penggunaan moda pribadi, terjadi peningkatan kemacetan jalan raya dan kerusakan lingkungan kota (emisi dan kebisingan), perpindahan moda dari kendaraan pribadi ke transportasi umum menjadi jawaban utama yang tersedia bagi para perencana kota dan pembuat kebijakan transportasi (Barthelemy 2016). Studi telah menyarankan solusi untuk mempromosikan pergeseran modal, yang melibatkan peningkatan kualitas layanan dan mengakomodasi persepsi/motivasi untuk beralih pada moda transportasi umum (Mugion *et al.* 2018; Redman *et al.* 2013). Selanjutnya, istilah interaksi sosial juga ditemukan memainkan peran positif yang signifikan dalam mendorong pergeseran ini (Abou-Zeid *et al.* 2013). Model disagregat konvensional memprediksi permintaan perjalanan terutama terkait dengan prediksi dan analisis permintaan perjalanan berdasarkan kerangka konvensional maksimalisasi *utilitas* acak (*random utility maximization*) untuk meramalkan permintaan perjalanan. Artinya, model tersebut hanya mempertimbangkan atribut objektif atau terukur (*tangible*) dari alternatif pilihan dan atribut sosio-demografis sebagai variabel penjelas. Ini terlepas dari fakta bahwa telah diakui dengan baik dalam beberapa tahun terakhir sikap dan persepsi juga memengaruhi perilaku pilihan individu dalam peramalan permintaan perjalanan (Bolduc *et al.* 2008; Bierlaire *et al.* (2010); Raveu *et al.* (2010); Yanez *et al.* 2010; Sugiarto *et al.* 2017a; Sugiarto *et al.* 2017b; Sugiarto *et al.* 2020). Memperlakukan determinan psikologis (*intangible*) sebagai variabel laten dalam model merupakan langkah lanjutan dalam analisis perilaku perjalanan. Meskipun tidak dapat diamati, determinan ini dapat diukur dengan indikator dan dijelaskan oleh elemen lain yang dapat diamati (Bollen 1989), dan kemudian dapat digunakan untuk meningkatkan penjelasan tentang pemodelan perilaku perjalanan (Walker dan Ben-Akiva 2002).

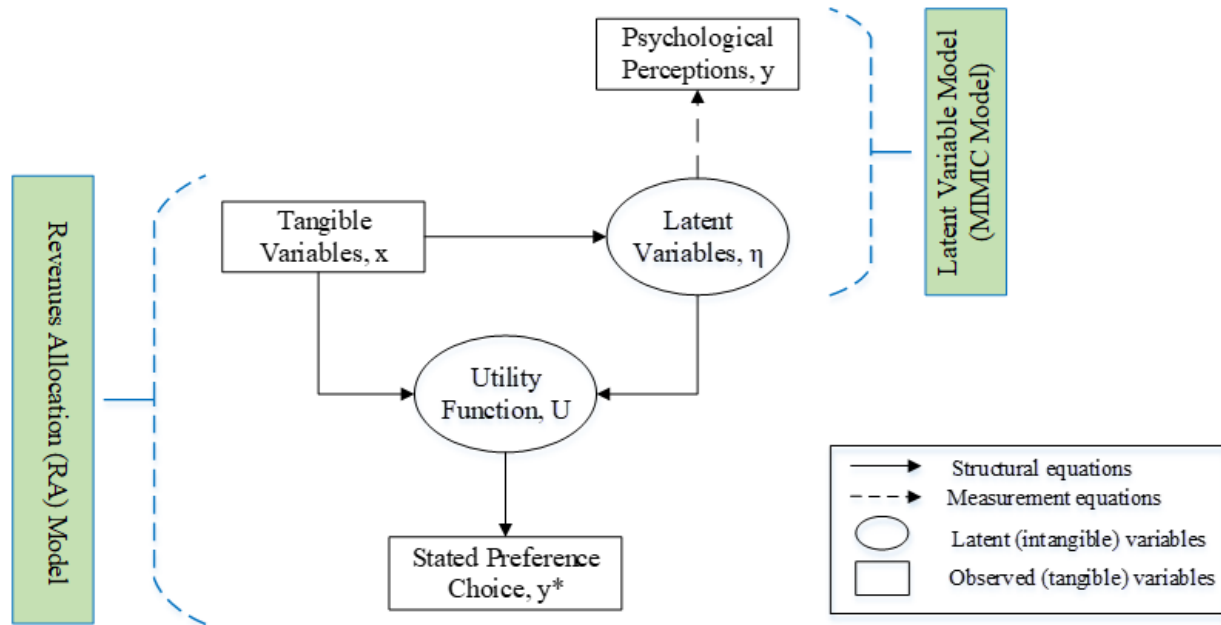
Selama dekade terakhir jenis model pemilihan hibrida telah diusulkan untuk memungkinkan sikap dan persepsi individu untuk dimasukkan melalui variabel laten dalam pengaturan pilihan diskrit standar (Walker dan Ben-Akiva, 2002; Yanez *et al.* 2010). Dua pendekatan untuk model hibrida sekarang tersedia secara luas, satu berdasarkan pendekatan hierarki/tahapan (Yanez *et al.* 2010; Sugiarto *et al.* 2017a; Sugiarto *et al.* 2017b; Sugiarto

et al.2020b) dan yang lainnya kerangka kerja simultan (Bolduc et al. 2008; Raveu et al. 2010). Pendekatan kedua menawarkan estimator parameter yang efisien dan konsisten tetapi telah digunakan lebih sedikit karena lebih kompleks dan rumit secara komputasi karena integral multidimensi dalam distribusi gabungan. Sugiarto et al. (2017b) menyimpulkan bahwa metode simultan model pilihan diskrit dengan integrasi variabel laten telah membatasi jumlah variabel laten (biasanya tiga atau lebih sedikit variabel laten), semakin banyak variabel laten, kompleksitas komputasi dapat meningkat secara eksponensial.

2.2 Struktur Model Disagregat Hibrida Berbasis Perilaku Perjalanan

Berdasarkan distribusi data, data perilaku perjalanan transportasi umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu data kontinu (*infinite*) dan data diskrit (*finite*). Model pemilihan hibrida yang dikembangkan untuk memodelkan perilaku perjalanan transportasi juga dikembangkan menjadi dua jenis yaitu model hibrida dengan data variabel terikat adalah data kontinu, dikenal dengan model hibrida alokasi (*hybrid allocation model*) (Sugiarto et al. 2017a; Sugiarto et al. 2017b) dan model hibrida dengan data terikat data diskrit, dikenal dengan model hibrida diskrit (*hybrid discrete choice model*) (Sugiarto et al. 2017a; Sugiarto et al. 2017b; Sugiarto et al. 2020b).

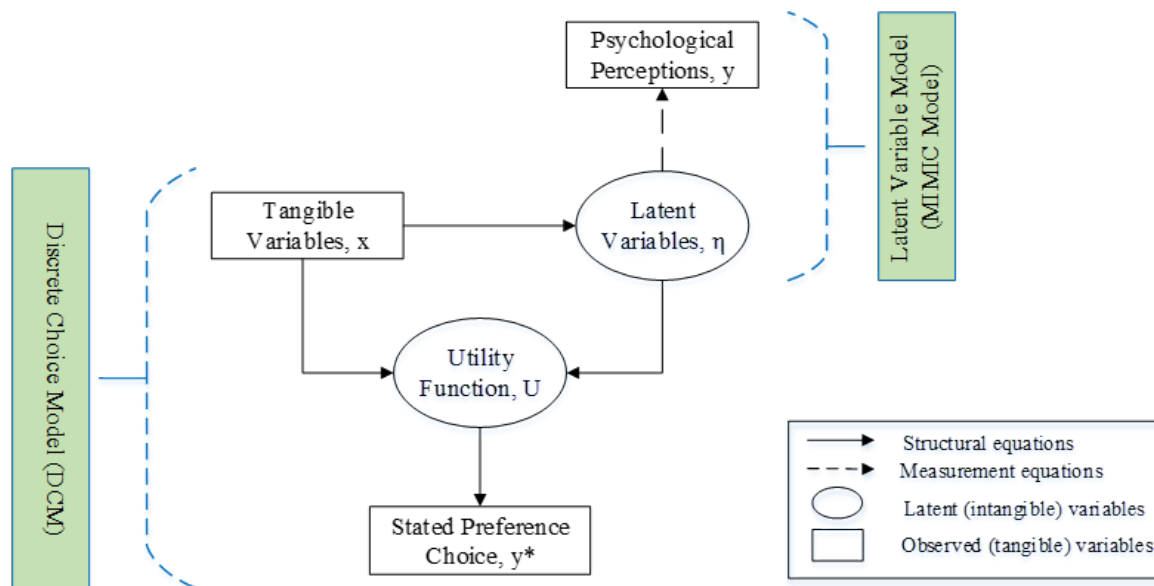
Kerangka umum pilihan diskrit hibrida memiliki model dua tahap yang terdiri dari dua komponen pemodelan sekuensial: 1) model variabel laten menggunakan model persamaan struktural berbasis kovariat (CB-SEM); dan 2) model pilihan kontinu atau diskrit seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Model bagian atas (model variabel laten) terdiri dari model persamaan struktural berbasis kovariat (CB-SEM). Model ini umumnya digunakan untuk menggali lebih dalam informasi perilaku terkait persepsi psikologis responden.



Gambar 3. Framework model hibrida data kontinu (Sugiarto et al. 2017a; Sugiarto et al.2017b)

Model multiple-indicators multiple-causes (MIMIC) merupakan salah satu CB-SEM lengkap yang digunakan untuk menangkap variabel baik yang teramati (penyebab) maupun yang tidak teramati (indikator). Ini adalah

analisis multivariat seperti yang awalnya dikembangkan oleh Joreskog dan Goldberger (1975) untuk analisis data sosiologi. Pada umumnya analisis data permintaan perjalanan dan perilaku perjalanan transportasi dihadapkan pada dua jenis data, yaitu data kontinu dan data diskrit.



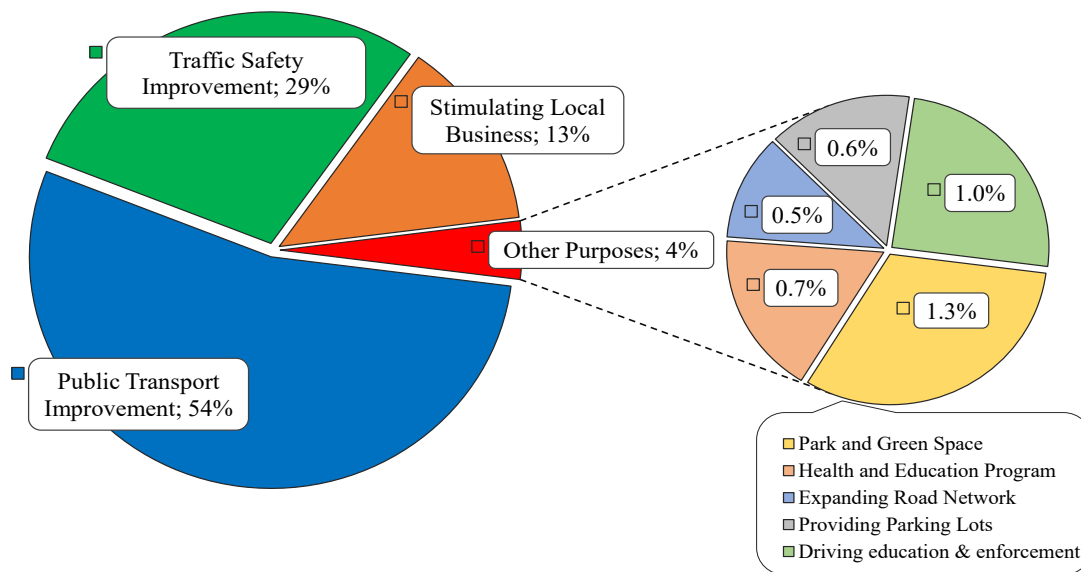
Gambar 4. Framework model hibrida data diskrit (Sugiarto et al. 2017a; Sugiarto et al.2017b)

III. HASIL /TEMUAN

Optimalisasi model hibrida ini terkait dengan pendapatan dari kebijakan *road pricing* di Jakarta harus dialokasikan untuk pembiayaan kebijakan transportasi yang sesuai dengan harapan masyarakat. Selanjutnya, studi ini menggunakan kerangka utilitarian tradisional (*utilitarian resource allocation*) untuk memodelkan alokasi pembiayaan transportasi yang bersumber dari pendapatan *road pricing* di Jakarta. Model konvensional dikembangkan berdasarkan pertimbangan atribut objektif atau terukur dari alternatif dan karakteristik sosio-demografis individu sebagai variabel penjelas. Sedangkan model hibrida kemudian menyertakan persepsi publik terhadap perilaku pilihan alokasi pembiayaan transportasi yang sesuai dengan harapan masyarakat. Untuk mendapatkan informasi pemilihan oleh responden, maka responden diminta untuk menunjukkan bobot mereka (tingkat persetujuan) dengan empat distribusi pendapatan (yaitu peningkatan transportasi umum; peningkatan keselamatan lalu lintas; merangsang bisnis lokal; tujuan lain).

Hasil analisis dengan HRA menunjukkan alokasi preferensi alokasi pendapatan yang dominan masing-masing adalah 54,13% dan 29,25% untuk peningkatan transportasi umum dan peningkatan keselamatan lalu lintas. Dukungan untuk pengeluaran untuk isu-isu lain seperti merangsang bisnis lokal (12,52%) dan menciptakan ruang hijau, mendorong penegakan hukum dan meningkatkan sistem parkir (total 4,10%) seperti yang terlihat pada Gambar 5. Model HRA menyimpulkan faktor yang signifikan mempengaruhi perilaku pilihan individu termasuk variabel nyata (tangible), yaitu tingkat biaya; pendapatan bulanan; pengeluaran transportasi; frekuensi

mengunjungi kawasan pusat bisnis, atau CBD; frekuensi menggunakan moda mobil untuk memasuki CBD; frekuensi menggunakan transportasi umum untuk memasuki CBD; dan variabel tidak berwujud (intangible), yaitu pengakuan skema road pricing; penghambatan kebebasan bergerak; kepercayaan pada kebijakan pemerintah, termasuk transparansi pemerintah).



Gambar 5. Framework model hibrida redistribusi pendapatan dengan *hybrid revenue allocation* (Sugiarto *et al.* 2017b)

KESIMPULAN

Formulasi kebijakan transportasi sangat tergantung pada keakuratan prediksi asal-tujuan transportasi. Seiring dengan kompleksnya perilaku perjalanan (*travel behavior*) transportasi di level individual, maka analisis data perjalanan transportasi perlu disesuaikan dengan metode analisis yang dapat mengurangi bias antara *demand* yang diprediksi (*predicted*) dan realitasnya (*observed*). Prediksi permintaan perjalanan (*demand forecasting*) merupakan komponen utama untuk analisis kebijakan transportasi seperti studi kelayakan, perencanaan jaringan jalan, perencanaan moda transportasi dan berbagai kebijakan transportasi. Perkembangan teknologi komputasi dan sistem informasi memberikan kontribusi signifikan dalam perubahan pola perjalanan transportasi individual. Sehingga disimpulkan pendekatan yang mampu mengakomodir kompleksnya pola pergerakan dan atribut perilaku perjalanan transportasi adalah pendekatan disagregat dan pendekatan *big data analytics* dan *artificial intelligent*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou-Zeid M, Schmöcker JD, Belgiawan PF. 2013. Mass effects and mobility decisions. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, 5(3):115-130.
- Barthelémy M. 2016. A global take on congestion in urban areas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(5): 800-804.

- Bierlaire M, Hurtubia R, Flötteröd G. 2010. Analysis of implicit choice set generation using a constrained multinomial logit model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2175(1):92-97.
- Bolduc D, Boucher N, Álvarez-Daziano R. 2008. Hybrid choice modelling of new technologies for car choice in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2082(1):63-71.
- Bollen KA. 1989. *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Flyvbjerg B, Skamris MK, Buhl S. 2005. How (in) accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation. *Town and Country Planning: The Quarterly Review of the Town and Country Planning Association*, 71(2):131-146.
- Joreskog GK, Goldberger SA. 1975. Estimation of a model with multiple indicators and multiple causes of a single latent variable. *Journal of the American Statistical Association*, 70(351): 631-639.
- Mugion RG, Toni M, Raharjo H, Pietro LD, Sebathu SP. 2018. Does the service quality of urban public transport enhance sustainable mobility?. *Journal of Cleaner Production*, 174:1566-1587.
- Ortuzar, JD, Willumsen LG. 2011. *Modelling Transport*. 4th ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- Raveau S, Álvarez-Daziano R, Yáñez MF, Bolduc D, Ortúzar JD. 2010. Sequential and simultaneous estimation of hybrid discrete choice models—some new findings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2156(1):131-139.
- Redman L, Friman M, Gärling T, Hartig H. 2013. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 25:119-127.
- Saleh SM, Sugiarto S, Salmannur A. 2019a. Attitudinal dataset for mediating the effects of public acceptance on bus reform scheme in a developing country context. *Data in Brief*, 25(104035): 1-10.
- Saleh SM, Sugiarto S, Anggraini R. 2019b. Analysis on public's response toward bus reform policy in indonesia considering latent variables. *The Open Transportation Journal*, 13(2019):17-24, 2019.
- Sugiarto S, Miwa T, Sato H, Morikawa T. 2017a. Explaining differences in acceptance determinants towards congestion charging policies in Indonesia and Japan. *Journal of Urban Planning and Development*, 143(2):1-12.
- Sugiarto S, Miwa T, Morikawa T. 2017b. Inclusion of latent constructs in utilitarian resource allocation model for analyzing revenue spending options in congestion charging policy. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103:36-53.
- Sugiarto S, Miwa T, Morikawa T. 2018. Recursive bivariate response models of the ex-ante intentions to link perceived acceptability among charge and refund options for alternative road pricing schemes. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, 10(1):52-63.
- Sugiarto S, Saleh SM, Anggraini R, Merfazi M. 2019. Investigating public perceptions and its implication toward Trans Koetaradja policy considering latent motivation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 523:012036.
- Sugiarto. 2020a. *Disrupsi Teknologi, Tantangan SDM dan Fokus Penelitian Bidang Transportasi di Era Digital*. Pemaparan Kuliah Tamu di Institut Teknologi Kalimantan (ITK), 17 November 2020. Unpublished.
- Sugiarto S, Miwa T, Morikawa T. 2020b. The tendency of public's attitudes to evaluate urban congestion charging policy in Asian megacity perspective: Case a study in Jakarta, Indonesia. *Case Studies on Transport Policy*, 8(1):143-152.
- Sugiarto. 2021a. *Hybrid Discrete Choice: Theory and Application to Travel Behavior Analysis*. Pemaparan Kuliah Tamu di Universitas Sebelas Maret (UNS), 26 oktober 2021. Unpublished.

- Tosa C, Sato H, Morikawa T, Miwa T. 2018. Commuting behavior in emerging urban areas: findings of a revealed preferences and stated-intentions survey in Cluj-Napoca, Romania. *Journal of Transport Geography*, 68:78-93.
- Walker J, Ben-Akiva M. 2002. Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences*, 43(3):303-343.
- Yanez MF, Raveau S, Ortuzar JD. 2010. Inclusion of latent variables in mixed logit models: Modelling and forecasting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9):744-753.

BIOACTIVE PHYTOCONSTITUENTS AND HEMOSTATIC AND ANGIOGENETIC ACTIVITIES OF *CHROMOLAENA ODORATA* L. LEAF EXTRACT GEL ON ANIMAL EPISTAXIS MODEL

Teuku Husni T. R*, Darmawi Darmawi, Azwar Azwar, Kurnia Fitri Jamil

Graduate School of Mathematics and Applied Science, Syiah Kuala University,
Banda Aceh, Indonesia
Corresponding author: teukuhusnitr@usk.ac.id

SUMMARY

Epistaxis occurs in approximately 60% of the general population globally and herbal medicine for its treatment including *Chromolaena odorata* L. could be one of the alternatives. The aims of this study were: (a) to determine the putative compounds and the bioactivities of *C. odorata* leaf extract; and (b) to assess their hemostatic and angiogenesis properties in an animal epistaxis model. The putative compounds of *C. odorata* extract were determined using gas chromatography and mass spectroscopy (GCMS) and the bioactivities were determined using the Molinspiration Cheminformatics 2018 software. The hemostatic and angiogenesis activities were assessed using an epistaxis model of male rabbits (*Oryctolagus cuniculus*), on which three concentrations of *C. odorata* were tested. The gel was applied twice a day until 21 days. The hemostatic activity was monitored by measuring the clotting time. The angiogenesis activity was followed by measuring the serum blood electrolyte, serum CD34 and CD68 levels, and the histopathology of fibroblast and the new blood vessels. Eight putative compounds with activities that increased immune responses and angiogenesis by having antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory effects were identified. Those compounds had a range of bioactivity to G-protein coupled receptor ligand, ion channel modulator, kinase inhibitor, nuclear receptor ligand, protease inhibitor, and enzyme inhibitor. Our data suggested that *C. odorata* extract affected the sodium, potassium, and chloride levels. There was no significant difference in the mean levels of CD34 and CD68 among the treatment and control groups.

I. INTRODUCTION

Epistaxis (nasal bleeding) is a symptom of several diseases such as nose trauma and cardiovascular diseases. It has been reported in 60% of the general population, most commonly in individuals younger than 10 or older than 50 (Tunkel *et al.* 2020). Neovascularization (organic formation of blood vessels) and angiogenesis (growth of blood vessels from the pre-existing vasculature) are core mechanisms in epistaxis healing by involving cluster of differentiation 34 (CD34) as a marker of hematopoietic progenitor cells, assisted by CD68, which is able to clear cellular waste and facilitate the attraction and activation of macrophages (Salim *et al.* 2018).

Herbal medicine for epistaxis management has been intensively studied recently since it could be safer. *Chromolaena odorata* L. (*C. odorata*) is a prairie weed found in almost all parts of Indonesia and other tropical countries. The leaves contain compounds such as flavonoids, saponin, tannins and terpenoids (Akinmoladun *et al.* 2007; Phan *et al.* 2001). All of which are important in the coagulation underlying wound healing, due to their antioxidant activities that inhibit oxidative damage (Phan *et al.* 2001). A previous study reported that the 70% ethanolic extract of *C. odorata* was highly effective for stopping bleeding in Wistar rats (Pandith *et al.* 2012) and its compounds, like stigmasterol and scutellarin tetramethyl ether, have hemostatic (Triratana *et al.* 1991) and anti-inflammatory properties (Pandith *et al.* 2013). Another study also found that *C. odorata* leaves in a cream formulation stimulated granulation tissue formation and wound re-epithelialization by increasing fibroblasts and skin cell proliferation, which have been clinically and histologically proven (Revi *et al.* 2013).

Epistaxis can be treated with a variety of topical vasoconstrictor agents such as in a gel formulation. Gel is less greasy and easily washed off, so it leaves the treated wound with no unpleasant smell (Herdiana *et al.* 2007). This study aimed to assess the hemostatic and angiogenesis effects of *C. odorata* leaf extract gel in an animal epistaxis model.

II. TECHNOLOGY/METHODS

2.1. Study Setting

An experimental study was conducted to assess the hemostatic and angiogenesis activities of *C. odorata* leaf extract gel in an animal epistaxis model. A total of 30 healthy male rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) were divided into five groups (one group for each negative and positive control and three groups for different concentrations of *C. odorata* extract). After epistaxis was created in all animals, the *C. odorata* extract gel was applied twice a day and the animals were followed until 21 days. The hemostatic activity was evaluated by measuring the clotting time required after the first gel was applied. The angiogenesis activity was evaluated by measuring *C. odorata* extract's effect on serum inflammatory cell profiles, serum CD34 and CD68 expression and the histopathology of angiogenesis and fibroblast on days 7, 14, and 21 post-epistaxis.

2.2. *Odorata* Extract

The leaves of *C. odorata* were collected from Darussalam, Banda Aceh, Indonesia and herbarium identification was conducted at the Department of Biology in the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia. The extraction procedure was conducted at the Pharmacology Laboratory, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Syiah Kuala. In brief, 5 kg of leaves were cleaned with distilled water, sliced into pieces, and dried in the shade for 72 hrs. The dried leaves were mechanically powdered with a blender. A total of 1,500 g of powder was divided into 10 bottles of dark macerator, 70% ethanol was added and they were left for 18 hrs at room temperature. The mixture was separated by filtration using flannel twice, using the 70% ethanol. The filtrate was concentrated with a rotary evaporator (Buchi R300, Wellington, New Zealand) until a pure extract was obtained (Aiyalu *et al.* 2016).

2.1.1. Compounds Identification of *C. odorata* Extract

The putative compounds were determined using quantitative analysis with gas chromatography and mass spectroscopy (GC-MS) (QP2010 SE, Shimadzu, Kyoto, Japan), controlled with LabSolutions DB/CS software (Shimadzu, Kyoto, Japan). It was started by methylating *C. odorata* extract in which 15 ml of methanol was added.

The mixture was then left for 2 hrs at room temperature and evaporated until dried. The sample obtained was then added with 10 ml of methanol containing 2 ml of HCl, heated for 1.5 hrs and it was separated using column chromatography with silica gel for the stationary phase and hexane-chloroform (9:1) for the mobile phase. The injector temperature was 250°C. The oven temperature was set at 140°C for 10 mins and increased by 7°C/min to 250°C for 10 mins.

2.1.2. Bioactivity Test of *C. odorata* Extract

The bioactivity score of *C. odorata* extract was calculated using web-based software (Molinspiration Cheminformatics 2018 on the Web, Bratislava, Slovak Republic). The result was based on the compounds activity in response to G-protein coupled receptor (GPCR) ligand, ion channel modulator, kinase inhibitor, nuclear receptor ligand, protease inhibitor and enzyme inhibitor. The bioactivity was assessed using a score scale: greater than 0.00 indicated significant biological activity, between -0.50 and 0.00 indicated moderate activity and less than -0.50 indicated inactivity (Husain *et al.* 2016).

2.3. Preparation of Gel Formulation

Four gel formulations were each made using different concentrations of *C. odorata* extract. The ingredients are presented in Table 1. A total of 5, 10 and 15 g of *C. odorata* extract was used to formulate the gel-II (5% w/w, called Co_{5%} group), gel-III (10% w/w, called Co_{10%} group) and gel-IV (15% w/w, called Co_{15%} group), respectively, and then dissolved in a heated water bath, at approximately 45°C. To create a homogenous gel, glycerin, propylene glycol and water were added to the mixture while continuously stirring with sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC). The gel was kept overnight at 10-15°C in a dark room. The final weight was adjusted with aquadest to yield a total weight of 100 g.

2.3.1. Gel Evaluation

Evaluation of gel preparations included organoleptic qualities, pH, homogeneity, viscosity and spreadability. An organoleptic test was conducted by assessing the gel visually including the shape, color and odor of each gel preparation. The pH of gel was determined using a universal pH indicator stick. To assess the homogeneity, the gel was applied to a piece of glass to check whether it showed any coarse grains. A digital Rion viscometer (Thermo Scientific, Brookfield, WI, US) was used to assess gel viscosity. The spreadability, the rate (in seconds) at which two slides separate from gel placed between them, was measured using a 7.5 cm glass slide and the specified weight tied to the upper plate was 20 g.

Table 1. Composition of gel formulation.

Ingredients	Groups			
	C _{Negative}	Co _{5%}	Co _{10%}	Co _{15%}
Ethanol extract of <i>C. odorata</i> (w/w)	0	5	10	15
Sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC)	5	5	5	5
Glycerin	10	10	10	10
Propylene glycol	5	5	5	5
Aquadest	q.s.p.	q.s.p.	q.s.p.	q.s.p.

q.s.p.: quantity sufficient to prepare 100 grams of gel.

2.4. Animal Preparation

A total of 30 healthy male rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) were used in this study. The animals were maintained separately in sterile cages with 12 hr light/dark cycles at 22°C–4°C. Food and water were provided *ad libitum*. The animal adaptation was carried out for one week prior to the study. Ill and underweight rabbits were excluded.

2.5. Epistaxis Model

All rabbits were sedated with 5 mg/kg intramuscular xylocaine hydrochloride (23.32 mg/mL) and 50 mg/kg ketamine chloride (Parker Davis and Company, Detroit, Michigan, US). A standard mucosal wound was made with a 3mm surgical punch to the rabbit nasal septum. The surgical punch was applied to the nasal mucosa over the right and left front of the septum using slight pressure and was rotated 90° clockwise, followed by 90° counterclockwise to assemble a full thickness mucosal injury without damaging the cartilage of the nose septum. A total of 0.2 ml of the gel was applied soon after the surgical punch and repeated twice a day. All procedures were conducted by a registered veterinarian with animal care certification.

2.6. Homeostasis Assessment

To measure the homeostasis effect of *C. odorata* extract, the time required for the blood to stop after the first gel was applied was measured. The times were expressed in minutes.

2.7. Blood Electrolyte Analysis

To measure the blood electrolytes, blood samples were collected on days 7, 14 and 21. Electrolytes in serum samples were examined using an electrolyte analyzer with the ion selective electrode method (Guangzhou Happycare Electronics, Guangdong, China). Briefly, the suction needle of the electrolyte analyzer was inserted into the serum cup and left to collect the serum for 2 seconds. The results of the serum electrolyte levels were recorded as per the manufacturer's protocol (Guangzhou Happycare Electronics, Guangdong, China).

2.8. Measurement of CD34 and CD68 Expression

The titers of serum CD34 and CD68 were measured using Rabbit Cluster of Differentiation 34 (CD34) and CD68 ELISA Kits from ELK Biotechnology (ELK Biotechnology, Wuhan, China). Venous blood samples were collected from the lateral ear vein on days 7, 14 and 21, and serum was prepared by centrifuging the blood at 4000 rpm for 3 mins. A total of 10 µL of serum was used to measure the level of CD34 and CD68 following the manufacturer's protocol (ELK Biotechnology, Wuhan, China). The sensitivity limit of both kits is 0.065 ng/mL while the detection range is between 0.16–10 ng/mL.

2.9. Measurement of Angiogenesis

To provide the histopathology of angiogenesis, the animals were sacrificed using chloroform at day 21. The nasal septal mucosa was preserved using formaldehyde, and a tissue dehydration process was conducted using serial concentrations of alcohol based on standard protocol.¹² The histopathology slices were prepared as thin as 4 µm each based on the protocol.¹² Angiogenesis was measured by counting the number of fibroblasts and the new blood vessels through histopathology examination. They were assessed and counted using a BX51M light microscope (Olympus, Tokyo, Japan) with 400x magnification. Each observation was repeated in 5 fields of view.

2.10. Statistical Analysis

Bleeding time, the concentration of serum electrolytes, inflammatory cell number, titers of CD34 and CD68 were compared between groups using one-way analysis of variance (Anova) or Kruskal-Wallis analysis as appropriated. All analyses were conducted using SPSS software ver. 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) (RRID:SCR_019096).

2.11. Ethical Approval

The protocol for this study and its use of rabbits was approved by the Research Ethics Committee at the Faculty of Veterinary Medicine, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh (no. 127/KEPH/XII/2021). To minimize the distress to the animals, the appropriate housing with ad libitum feeding was provided during the study while to minimize the pain, anesthesia was used before the rabbits were sacrificed. The procedures were conducted by a veterinarian with animal care certification.

III. RESULTS / FINDING

3.1. The Putative Compounds of *C. odorata*

The putative compounds found in the ethanol extract of *C. odorata* were antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory, indicated as nos. 9, 12, 19, 20, 21, 27, 33, and 35 in Table 2. The eight compounds have effects that increase immune responses and angiogenesis. Figure 1 depicts the quantity and the tendency of peak values of related compounds.

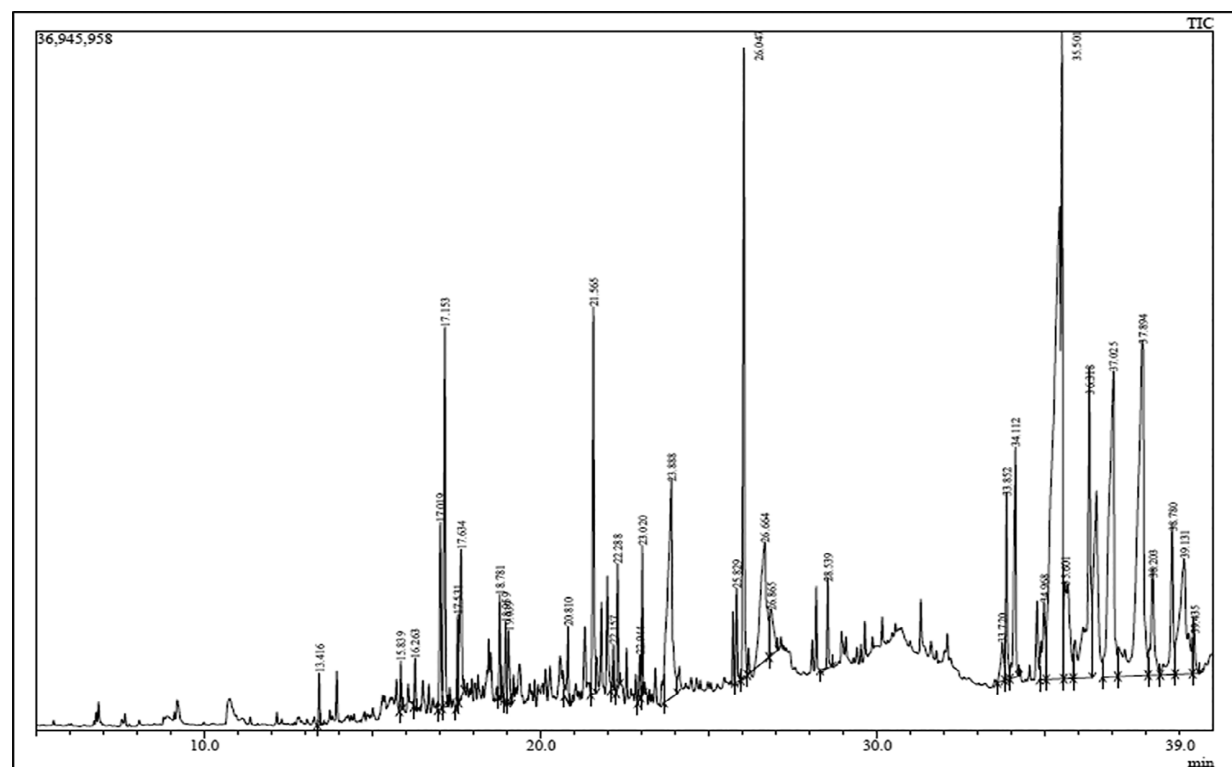


Figure 1. GC-MS pattern of chemical compounds obtained from *C. odorata*.

Table 2. GCMS analysis showing the putative compounds of *C. odorata* leaf ethanol extract.

Peak #	Retention time	Area %	Compounds
1	13.416	0.31	β -Copaen-4 α -ol
2	15.839	0.31	δ -Cadinene
3	16.263	0.32	α -Calacorene
4	17.019	1.52	(+)-Spathulenol
5	17.153	3.01	(-)-Caryophyllene oxide
6	17.531	0.65	(E)-Solane
7	17.634	1.66	(-)-Caryophyllene oxide
8	18.781	0.72	Longifolenaldehyde
9	18.959	0.58	Longiverbenon (Vulgaron B)
10	19.039	0.63	2,5-Furandione, 3-(dodecenyldihydro-
11	20.810	0.61	Ledol
12	21.565	3.23	Phytol, acetate
13	22.157	0.32	Platambin
14	22.288	0.83	2-Hexadecen-1-ol,(CAS) Phytol
15	22.944	0.32	1-Cyclohexene-1-butanol, α ,2,6,6-tetr
16	23.020	0.84	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Me
17	23.888	5.39	l-(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate
18	25.829	0.73	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
19	26.047	5.25	neo-Menthol
20	26.664	4.02	Pentadecadien-1-ol
21	26.865	1.02	Octadecanoic acid
22	28.539	0.60	n-Tetracosanol-1
23	33.720	0.63	Stigmasta-5,22-dien-3-ol, (3 β ,22E)- (C
24	33.852	1.43	1-Heptacosanol
25	34.112	2.47	5-Hydroxy-4',7'-dimethoxyflavanone
26	34.968	1.36	9-Octadecenamamide, (Z)-(CAS) Oleoami
27	35.501	22.96	Squalene
28	35.601	2.80	Stigmast-5-en-3-ol, (3 β ,24S)-(CAS) Cl
29	36.318	6.08	1-Hexacosanol
30	37.025	8.35	Phenol, (3S)-7-O-Methoxymethylvestitol
31	37.894	11.79	4-Acetyl-3-hydroxy-2,6-dimethoxytoluene
32	38.203	1.92	4H-1-Benzopyran-4-one, 5-hydroxy-2-(4-h
33	38.780	2.26	β -Ocopherol
34	39.131	4.47	Silane, dimethyl(3-methylphenoxy)ethoxy-
35	39.435	0.64	Octacosanol
Total		100.00	

3.2. Bioactivity Test of *C. odorata* Compound

The bioactivity scores for each putative compound from *C. odorata* extract are presented in Table 3. Compound 19 (neo-menthol) was the most inactive while compound 35 (octacosanol) was the most active against all six molecule groups.

Among the eight antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory compounds, our findings enabled the following observations:

- GPCR ligand: compounds 9, 12, 21, 27, 33 and 35 were highly active (> 0), compound 20 was moderately active (≤ 0) and compound 19 was inactive (< -0.50).
- Ion channel modulator: compounds 12, 20, 21, 27 and 35 were highly active (> 0), and compounds 9, 19 and 33 were moderately active (≤ 0).
- Kinase inhibitor: compound 35 was highly active (> 0), compounds 9, 20, 21, 27, and 33 were moderately active (≤ 0) and compounds 12 and 19 were inactive (< -0.50).
- Nuclear receptor ligand: compounds 12, 21, 27, 33, 35 were highly active (> 0), compounds 9 and 20 was moderately active (≤ 0) and compound 19 was inactive (< -0.50).
- Protease inhibitor: compounds 21, 33, and 35 were highly active (> 0), compound 9, 12, 20, and 27 were moderately active (≤ 0) and compound 19 was inactive (< -0.50).
- Enzyme inhibitor: compounds 9, 12, 20, 21, 27, 33, and 35 were highly active (≥ 0) and only compound 19 was moderately active.

Table 3. The IUPAC name and bioactivity score of volatile putative compounds isolated from *C. odorata* leaf ethanol extract.

No.	Chemical compounds	GPCR ligand	Ion channel modulator	Kinase inhibitor	Nuclear receptor ligand	Protease inhibitor	Enzyme inhibitor
1	β -Copaen-4 α -ol	-0.19	0.26	-0.57	0.45	-0.17	0.27
2	δ -Cadinene	-0.58	-0.02	-0.75	0.00	-0.68	0.19
3	α -Calacorene	0.01	0.15	-0.74	0.24	-0.36	0.14
4	(+)-Spathulenol	-0.42	-0.28	-0.68	0.28	-0.36	0.06
5	(-)-Caryophyllene oxide	-0.08	0.14	-0.86	0.62	0.00	0.57
6	(E)-Solanone	-0.67	-0.27	-0.37	-0.11	-0.70	-0.01
7	(-)-Caryophyllene oxide	-0.29	0.05	-0.75	0.04	-0.24	0.60
8	Longifolenaldehyde	-0.41	-0.10	-1.05	0.14	-0.53	0.16
9	Longiverbenon (Vulgaron B)	0.01	-0.10	-0.42	-0.06	-0.06	0.15
10	2,5-Furandione,3-(dodecenyldihydro-	-0.50	-0.29	-0.82	-0.22	-0.48	-0.13
11	Ledol	-0.01	0.07	-0.44	0.24	-0.1	0.23
12	Phytol, acetate	0.07	0.19	-0.68	0.62	-0.20	0.48
13	Platambin	-0.01	0.27	-0.21	0.12	-0.09	0.30

14	2-Hexadecen-1-ol,(CAS) Phytol	-0.11	-0.05	-0.34	-0.09	-0.13	0.04
15	1-Cyclohexene-1- butanal, α ,2,6,6-tetr	-	-	-	-	-	-
16	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Me	-	-	-	-	-	-
17	l-(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate	-0.23	-0.85	-0.67	-0.61	-0.05	-0.31
18	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester	0.19	0.12	-0.22	0.17	0.04	0.26
19	neo-Menthol	-0.76	-0.30	-1.36	-0.60	-0.67	-0.22
20	Pentadecadien-1-ol	-0.17	0.06	-0.45	-0.17	-0.26	0.03
21	Octadecanoic acid	0.11	0.05	-0.20	0.17	0.06	0.20
22	n-Tetracosanol-1	0.08	0.02	0.01	0.12	0.10	0.10
23	Stigmasta-5,22-dien-3-ol, (3 β ,22E)- (C	0.12	-0.08	-0.48	0.74	-0.02	0.53
24	1-Heptacosanol	0.07	0.02	0.01	0.11	0.09	0.09
25	5-Hydroxy-4',7- dimethoxyflavanone	0.02	-0.27	-0.24	0.36	-0.09	0.13
26	9-Octadecenamide, (Z)-(CAS) Oleoami	0.04	-0.05	-0.12	-0.03	0.07	0.12

No.	Chemical compounds	GPCR ligand	Ion channel modulator	Kinase inhibitor	Nuclear receptor ligand	Protease inhibitor	Enzyme inhibitor
27	Squalene	0.04	0.01	-0.10	0.19	-0.03	0.16
28	Stigmast-5-en-3-ol, (3 β ,24S)-(CAS) Cl	0.14	0.04	-0.51	0.73	0.07	0.51
29	1-Hexacosanol	0.07	0.02	0.01	0.10	0.08	0.08
30	Phenol, (3S)-7-O- Methoxymethylvestitol	-	-	-	-	-	-
31	4-Acetyl-3-hydroxy- 2,6-dimethoxytoluene	-0.60	-0.47	-0.93	-0.57	-0.95	-0.35
32	4H-1-Benzopyran-4- one, 5-hydroxy-2-(4-h	-	-	-	-	-	-
33	β -Ocopherol	0.21	-0.01	-0.20	0.35	0.21	0.14

34	Silane, dimethyl (3-methylphenoxy) ethoxy-	0.66	0.22	0.46	-0.14	-0.47	0.15
35	Octacosanol	0.07	0.02	0.01	0.10	0.08	0.08

3.3. Homeostasis in the Epistaxis Model

In epistaxis rabbits, each concentration of *C. odorata* ethanol extract gel had a different ability to stop the bleeding (Table 4). The one-way Anova revealed that there was no significant difference in bleeding time between the groups ($p=0.928$).

Table 4. The effect of *C. odorata* extract on bleeding time in the animal epistaxis model.

Group	Mean bleeding time (minutes)						Mean
	1 st Rabbit	2 nd Rabbit	3 rd Rabbit	4 th Rabbit	5 th Rabbit	6 th Rabbit	
Co15%	0.52	1.13	0.40	0.58	1.11	0.55	0.71
Co10%	0.39	0.43	1.22	1.00	0.31	0.15	0.58
Co _{5%}	0.49	0.44	0.56	0.55	0.25	0.48	0.46
CPositive	0.48	0.41	0.4	0.35	0.49	0.27	0.40
CNegative	1.27	1.21	1.07	1.32	1.11	1.12	1.18
p-value							0.928

C: control group

3.4. Blood Electrolyte Levels in Epistaxis Wound Healing

The levels of the blood electrolyte of rabbits in the treatment and control groups on days 7, 14 and 21 are presented in Table 5. In rabbits, the normal range values of the electrolytes are sodium (130-155 mmol/L), potassium (4.0-6.5 mmol/ dL) and chloride (92-120 mmol/L).¹³ Almost all the animals from all groups had normal electrolyte levels on days 7, 14 and 21 post-epistaxis. Our data suggested that there were no significantly different levels of Na, K and Cl among groups in each time series (Table 5).

Table 5. The effect of *C. odorata* extract on serum electrolyte of epistaxis model rabbit.

Group	Day 7 (n=10)			Day 14 (n=10)			Day 21 (n=10)		
	Concentration (mmol/L)			Concentration (mmol/L)			Concentration (mmol/L)		
	Na	K	Cl	Na	K	Cl	Na	K	Cl
Co15%	140	7.5	103	142	4.3	103	140	7.5	103
Co10%	132	6.4	95	140	4.9	106	136	3.9	98
Co _{5%}	137	6.3	101	149	4.0	110	140	4.1	103
CPositive	123	6.4	89	136	4.5	101	133	4.1	98
CNegative	144	7.1	104	134	4.2	101	135	4.0	104
p-value	0.072	0.070	0.068	0.067	0.072	0.094	0.091	0.070	0.099

Na: natrium (sodium), K: kalium (potassium), Cl: chloride

3.5. CD34 and CD68 levels

After 7 days of treatment, CD34 concentrations were relatively higher in the positive control and the treatment groups compared to the negative control group and this was maintained until day 21. At days 7, 14 and 21 the highest CD34 concentration was demonstrated in *C. odorata* 5%, *C. odorata* 15%, and positive control, respectively (Table 6). Negative control had the lowest CD34 level at each time point. However, our data suggested that there was no significant difference in the mean levels of CD34 among groups on days 7, 14 and 21 with $p=0.072$, $p=0.093$ and $p=0.093$, respectively. The CD34 levels also showed no significant difference between days 7, 14 and 21 ($p=0.443$).

Table 6. The effect of *C. odorata* extract on serum CD34 level in the animal epistaxis model.

Group	Day 7 (n=10)		Day 14 (n=10)		Day 21 (n=10)	
	OD Mean SDV	Level (ng/mL)	OD Mean SDV	Level (ng/mL)	OD Mean SDV	Level (ng/mL)
Co15%	0.11 0.01	10.72	0.15 0.01	11.55	0.14 0.03	11.26
Co10%	0.12 0.01	10.95	0.12 0.03	10.86	0.12 0.04	10.86
Co _{5%}	0.13 0.01	11.10	0.11 0.03	10.76	0.14 0.00	11.34
CPositive	0.04 0.01	9.34	0.13 0.02	11.06	0.15 0.00	11.44
CNegative	0.13 0.00	8.093	0.06 0.06	9.75	0.09 0.02	7.378
p-value	0.072		0.093		0.093	

C: control group, SD: standard deviation value, OD: optical density

In comparison to negative controls, *C. odorata* 10% and 15% groups had consistent higher CD68 levels compared to the negative control group at all time points (i.e., days 7, 14 and 21) (Table 7). On day 14, the 15% *C. odorata* was able to induce CD68 expression more effectively. However, there was no significant difference in the mean levels of CD68 among groups on days 7, 14 and 21 with $p=0.075$, $p=0.078$ and $p=0.188$, respectively. There were no significant CD68 levels between days 7, 14 and 21 ($p>0.050$).

3.6. Fibroblast and Angiogenesis Profile in Epistaxis Healing

At 7 days post-epistaxis, animals in the *C. odorata* 15% and 10% groups had a higher percentage of fibroblasts compared to the *C. odorata* 5% group or positive control. At 14 days of recovery, Co10% group had a better ability to induce an increase in fibroblast cells, while positive control was the best on day 21 after recovery (Figure 2). One-way Anova analysis revealed that the percentage of the fibroblasts was no different between days 7, 14 and 21 ($p=0.765$).

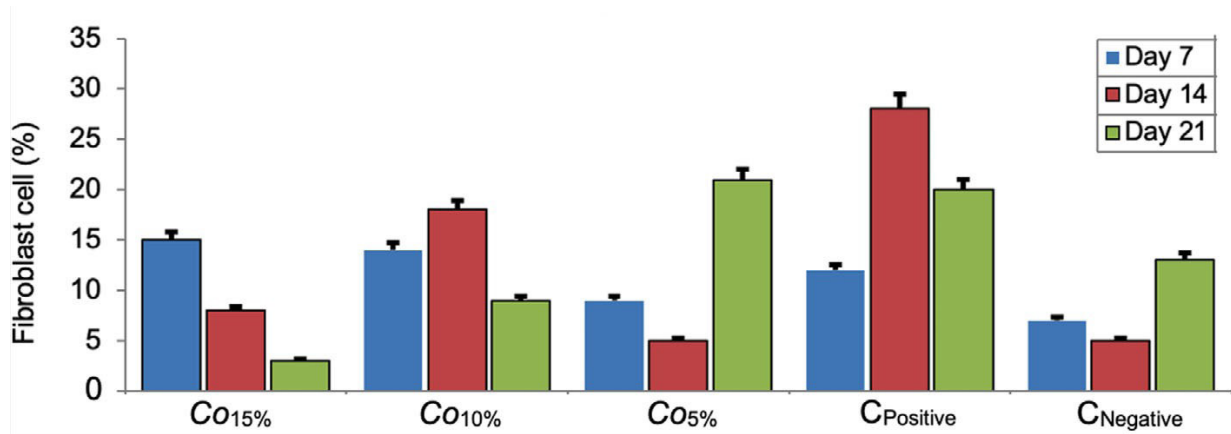


Figure 2. Fibroblast percentage in epistaxis healing process over time after being treated with different concentrations of *C. odorata* L leaf gel extract. Bar errors indicates percentage of error.

Our data suggested that the highest concentration of *C. odorata* (15%) demonstrated the ability to initiate angiogenesis, which was greater than the Co10% and Co5% groups. In all groups, the longer the recovery time, the higher percentage of angiogenesis. In general, the positive control group played a lesser role in angiogenesis than the treatment groups (Figure 3). There were no significant differences in angiogenesis between time series (7, 14 and 21 days of receiving *C. odorata* extract gel) ($p=0.478$). However, the Kruskal-Wallis test suggested that there was a significant difference in percentage of angiogenesis between concentrations of *C. odorata* ($p=0.018$). The profile of fibroblasts and new blood vessels in epistaxis at day 7 from all groups is presented in Figure 4.

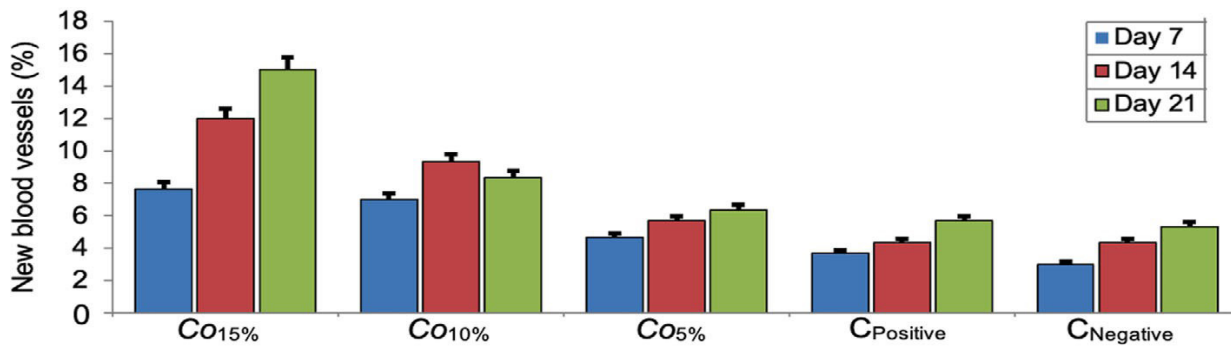


Figure 3. Angiogenesis, represented by the percentage of new blood vessels, in epistaxis healing process over time after being treated with different concentrations of *C. odorata* L leaf gel extract. Bar errors indicates percentage of error.

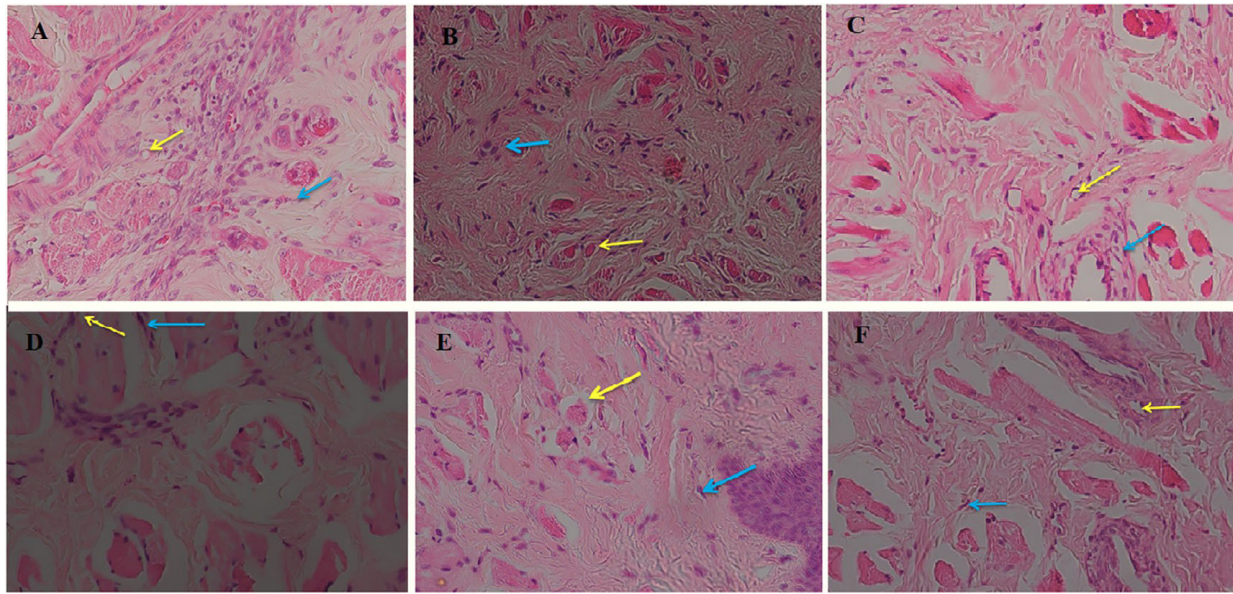


Figure 4. The profile of fibroblasts and new blood vessels in epistaxis after being treated with ethanol extract gel of *C. odorata* at day 7 with 400-time magnifications. (A) Negative control, (B) Positive control, (C) *C. odorata* 5%, (D) *C. odorata* 10%, (E and F) *C. odorata* 15%. Yellow arrow (new blood vessels), blue arrow (fibroblast).

Our data indicated that *C. odorata* leaf extract gel contained antioxidant, anti-inflammatory and antithrombotic compounds that might increase the homeostatic and angiogenesis properties observed in this study. These putative compounds are longiverbenone (vulgaron B) (0.58%), phytol, acetate (3.23%), neo-menthol (5.25%), pentadecadien- 1-ol (4.02%), octadecanoic acid (1.02%), squalene (22.96%), beta-tocopherol (2.26%) and octacosanol (0.64%). The synergism between *C. odorata* compounds and blood clotting factors in extrinsic and intrinsic pathways could accelerate the blood clotting, including the conversion of prothrombin to thrombin. Thrombin is an enzyme converting fibrinogen into fibrin that covers the wound and subsequently blood clotting (Weisel *et al.* 2017) A number of these compounds are also involved in the wound healing phases, including tissue proliferation and remodeling (Guo *et al.* 2010).

Table 7. The effect of *C. odorata* extract on serum CD68 level in the animal epistaxis model

Group	Day 7 (n=10)			Day 14 (n=10)			Day 21 (n=10)		
	OD Mean	SDV	Level (ng/mL)	OD Mean	SDV	Level (ng/mL)	OD Mean	SDV	Level (ng/mL)
Co15%	0.067	0.028	0.51	0.141	0.112	1.20	0.184	0.090	1.60
Co10%	0.075	0.024	0.59	0.077	0.032	0.60	0.086	0.057	0.69
Co _{5%}	0.087	0.166	0.69	0.013	0.075	0.01	0.122	0.021	1.03
CPositive	0.086	0.006	0.68	0.031	0.033	0.17	0.106	0.047	0.88
CNegative	0.012	0.194	0.00	0.017	0.037	0.04	0.022	0.052	0.09
p-value			0.075			0.078			0.188

C: control group, SD: standard deviation value, OD: optical density

Our study also assessed the bioactivities of *C. odorata* compounds as GPCR ligand, ion channel modulator, kinase inhibitor, nuclear receptor ligand, protease inhibitor and enzyme inhibitor. The biological activities of those six molecules might contribute in increasing the angiogenesis during epistaxis recovery. Through the ligand mechanism of GPCR, the activation of proteolytic enzymes involved in wound healing is possible (Fu J *et al.* 2014) These enzymes degrade necrotic cells originating from injured cells, regulate the cell maturation and multiplication, synthesize collagens and regulate perivascular fibrin (Sinclair *et al.* 1994).

The ion channel owned by the active compounds of *C. odorata* could bind to the intracellular domain of the sodium channel with a voltage that blocks the entry of sodium into the cell to prevent depolarization. Depolarization is responsible for initiating a response or signals of pain conduction in peripheral nerves that act on wound healing (Ciotu *et al.* 2019). Modulator channel ions open pores in cell membranes, causing the generation of electric currents. Activation of the receptor will open ion channels so that the charge across the plasma membrane will be distributed effectively. This increased activation will help the cells to proliferate in the process of tissue repair (Waszkielewicz *et al.* 2013).

In terms of wound healing, enzyme inhibitors interfere with the response of inflammatory cells such as neutrophils. In contrast, the presence of active compounds from *C. odorata* provides an inflammatory cell response to release pyruvate kinase M2 (PKM2), an enzyme that acts in the last step of the glycolysis pathway and helps wound healing by promoting angiogenesis at the wound site (Zhang y *et al.* 2016; Hanh TTH *et al.* 2011). Some compounds from *C. odorata* exhibit high bioactivity such as octacosanol, which means that this compound might have an impact on expression of the genes involved in wound healing (Sonoda *et al.* 2008). This process occurs through the mechanism of ligand interaction with the receptor. Binding ligands activate nuclear receptors including lipophilic substances such as endogenous hormones, vitamin A, vitamin D and xenobiotic hormones. Since the expression of a large number of genes is regulated by nuclear receptors, ligands that activate these receptors can have important effects on any cell of an organism undergoing repair or other response to the environment (Sladek FM, 2011).

C. odorata compounds also have bioactivity against protease inhibitors. In the wound healing process, proteases and their inhibitors contribute to a balance between degradation and deposition of the extracellular matrix (ECM), which is important for the timely and coordinated healing of wounds. However, when the balance is disturbed, the wound develops chronicity, characterized by an increase of proteases and a decrease of protease inhibitors (McCarty *et al.* 2013). Excessive proteases will degrade ECM, interfering with wound healing (Rushton, 2007) This mechanism allows wound healing to also occur in epistaxis with.

C. odorata binding to excess proteases. In the inflammatory phase, proteases remove the damaged ECM, followed by a proliferation phase where proteases help increase the degradation of capillary basement membrane for angiogenesis, assisting migration and cell release. In the remodeling phase, various cells are mobilized to the injured location to reconstruct the tissue, regulated by the ECM (Serena TE, 2014).

C. odorata increased the expression of CD34 and CD68 level but had no significant effect compared to control groups. CD34 is a marker of increased fibroblast cells, which are critical in angiogenesis during wound healing. They break down fibrin clots, build new collagen and ECM structures to support other cells needed for efficient

wound healing (Goichberg P, 2016; Mir MA *et al.* 2019; Dhar R *et al.* 2018). The increase in CD68, which is expressed by monocytes and macrophages, is in line with a decrease in inflammatory cells and stimulation of fibroblast activity which has an impact on angiogenesis (Gurevich *et al.* 2018; Chistiakoy DA *et al.* 2017). Nevertheless, slight fibroblast cell proliferation still occurred in the wound area in the present study. In addition, our study clearly demonstrated that the number of new blood vessels was significantly frequent at wounds from animals given the highest concentration of *C. odorata* (15%), followed by the 10% and 5% concentrations. This suggests that *C. odorata* extract could induce the angiogenesis, the process that is crucial during wound healing.

This study has some limitations that need to be discussed. The number of animals used in this study was very small and a study with bigger sample size is required. The present study assessed the level of CD34 and CD68 from the blood and such a source might not be the best indicator. Further study assessing the expression of CD34 and CD68 directly from the wound histopathology using immunohistochemistry is important. It is recommended for further studies be undertaken such as docking analysis³² to predict further interactions between the putative compounds of the *C. odorata* extract and critical molecules in the angiogenesis pathway.

VI. CONCLUSIONS

We identified eight putative compounds with antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory activities from *C. odorata* extract: longiverbenon (Vulgaron B), phytol (acetate), neo-Menthol, pentadecadien-1-ol, octadecanoic acid, squalene, beta.-tocopherol and octacosanol. These putative compounds have a range of bioactivities as GPCR ligand, ion channel modulator, kinase inhibitor, nuclear receptor ligand, protease inhibitor and enzyme inhibitor. Those putative compounds with their bioactivities might contribute in inducing the angiogenesis during the wound healing processes in epistaxis observed in the present study. Data availability; underlying data Figshare: Bioactive phytoconstituents and hemostatic and angiogenetic activities of *Chromolaena odorata* L. leaf extract gel on animal epistaxis model. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.20676942.33>. The project contains the following underlying data: Master Table.xlsx (raw data of gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)). Data are available under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC-BY 4.0).

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank Narra Studio Jurnal Indonesia for their assistance in preparing this manuscript.

BIBLIOGRAPHY

- Aiyalu R, Govindarjan A, Ramasamy A. 2016. Formulation and evaluation of topical herbal gel for the treatment of arthritis in animal model. *Braz. J. Pharm. Sci.* 52(3): 493–507.
- Akinmoladun AC, Akinloye O. 2007. Effect of *Chromolaena odorata* on hypercholesterolemia-related metabolic imbalances. *Proceedings of The Akure-Humboldt Kellogg/3rd SAAT Annual Conference on Medicinal Plants*, 287–90.
- Chistiakov DA, Killingsworth MC, Myasoedova VA, et al. 2017. CD68/ macrophage: not just a histochemical marker. *Lab. Investig.* 97: 4–13.

- Ciotu CI, Tsantoulas C, Meents J, *et al.* 2019. Noncanonical Ion Channel Behaviour in Pain. *Int. J. Mol. Sci*, 20(18): 4572.
- Dhar R, Kimseng R, Chokchaisiri R, *et al.* 2018. 2',4-Dihydroxy-3',4',6'- trimethoxychalcone from *Chromolaena odorata* possesses anti-inflammatory effects via inhibition of NF- κ B and p38 MAPK in lipopolysaccharide-activated RAW 264.7 macrophages. *Immunopharmacol. Immunotoxicol*, 40(1): 43–51.
- Fu J, Lee T, Qi X. 2014. The identification of high-affinity G protein- coupled receptor ligands from large combinatorial libraries using multicolor quantum dot-labeled cell-based screening. *Future Med. Chem*, 6(7): 809–823.
- Goichberg P. 2016. Current understanding of the pathways involved in adult stem and progenitor cell migration for tissue homeostasis and repair. *Stem Cell Rev. Rep*, 12(4): 421–437.
- Guo S, Dipietro LA. 2010. Factors affecting wound healing. *Journal of dental research. J. Dent. Res*, 89(3): 219–229.
- Gurevich DB, Severn CE, Twomey C, *et al.* 2018. Live imaging of wound angiogenesis reveals macrophage orchestrated vessel sprouting and regression. *EMBO J*, 37(13): e97786.
- Hanh TTH, Hang DTT, Van Minh C, *et al.* 2011. Anti-inflammatory effects of fatty acids isolated from *Chromolaena odorata*. *Asian Pac. J. Trop. Med*, 4(10): 760–763.
- Herdiana Y. 2007. *Formulasi gel uudesilenil fenilalanin dalam aktivitas sebagai pencerah kulit*. Universitas Padjajaran
- Husain A, Ahmad A, Khan SA, *et al.* 2016. Synthesis, molecular properties, toxicity and biological evaluation of some new substituted imidazolidine derivatives in search of potent anti- inflammatory agents. *Saudi. Pharm. J*, 24(1): 104–114.
- McCarty SM, Percival SL. 2013. Proteases and Delayed Wound Healing. *Advances in Wound Care (New Rochelle)*, 2(8): 438–447.
- Mir MA, Hamdani SS, Sheikh BA, *et al.* 2019. Recent advances in metabolites from medicinal plants in cancer prevention and treatment. *Curr. Immunol. Rev*, 15(2): 185–201.
- Pandith HTS, Wongkrajang Y, Gritsanapan W. 2012. In vivo and in vitro hemostatic activity of *Chromolaena odorata* leaf extract. *Pharm. Biol*, 50(9): 1073–1077.
- Pandith HZX, Thongpraditchote S, Wongkrajang Y, *et al.* 2013. Effect of Siam weed extract and its bioactive component scutellarein tetramethyl ether on anti-inflammatory activity through NF-KB pathway. *J. Ethnopharmacol*, 147(2): 434–441.
- Phan TT, Hughes MA, Cherry GW. 2001. Effects of an aqueous extract from the leaves of *Chromolaena odorata* (Eupolin) on the proliferation of human keratinocytes and on their migration in an in vitro model of reepithelialization. *Wound Repair Regen*, 9(4): 305–313.
- Revi Yenti RA, Afriani L. 2013. Formulasi krim ekstrak etanol daun kirinyuh (*Eupatorium odoratum* L.) untuk penyembuhan luka. *PharmaMedika*, 3(1): 227–230.
- Rushton i. 2007. Understanding the role of proteases and pH in wound healing. *Nurs. Stand*, 21(32): 68–74.

- Salim MN, Masyita D, Harris A, *et al.* 2018. Anti-inflammatory activity of *Jatropha curcas* Linn. latex in cream formulation on CD68 expression in mice skin wound. *Vet World*, 11(2): 99–103.
- Serena TE. 2014. Development of a novel technique to collect proteases from chronic wounds. *Advances Wound Care (New Rochelle)*, 3(12): 729–732.
- Sinclair RD, Ryan TJ. 1994. Proteolytic enzymes in wound healing: the role of enzymatic debridement. *Australas. J. Dermatol*, 35(1): 35–41.
- Sladek FM. 2011. What are nuclear receptor ligands? *Mol. Cell. Endocrinol*, 334(1-2): 3–13.
- Sonoda J, Pei L, Evans RM. 2008. Nuclear receptors: decoding metabolic disease. *FEBS Lett*, 582(1): 2–9.
- Triratana TSR, Naengchomnong W. 1991. Effect of *Eupatorium odoratum* on blood coagulation. *J. Med. Assoc. Thail*, 74(5): 283–287.
- Tunkel DE AS, Payne SC, Ishman SL, *et al.* 2020. Clinical practice guideline: nosebleed (Epistaxis). *Otolaryngol. Head Neck Surg*, 162: S1–S38.
- Waszkielewicz AM, Gunia A, Szkaradek N, *et al.* 2013. Ion channels as drug targets in central nervous system disorders. *Curr. Med. Chem*, 20(10): 1241–1285.
- Weisel JW, Litvinov RI. 2017. Fibrin formation, structure and properties. sub-cellular biochemistry. *Fibrous Proteins: Structures and Mechanisms*. Cham: Springer, 405–56.
- Zhang Y, Li L, Liu Y, *et al.* 2016. PKM2 released by neutrophils at wound site facilitates early wound healing by promoting angiogenesis. *Wound Repair Regen*, 24(2): 328–336.

KOMPOSIT SULFUR NANOPARTIKEL-SERBUK GERGAJI SEBAGAI PENSTABIL UAP MERKURI

Adlim, M^{*1,2}, Ibnu Khaldun¹, Sofyatudidin Karina³, Noor Hana Hanif Abu Bakar⁴

¹Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh 23111

²Program studi Doktor Matematika dan Aplikasi Sain, Sekolah Pascasarjana Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh 23111

³Program Studi Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala

⁴School of Chemical Sciences, Universiti Sains Malaysia

Penulis korespondensi: adlim@usk.ac.id

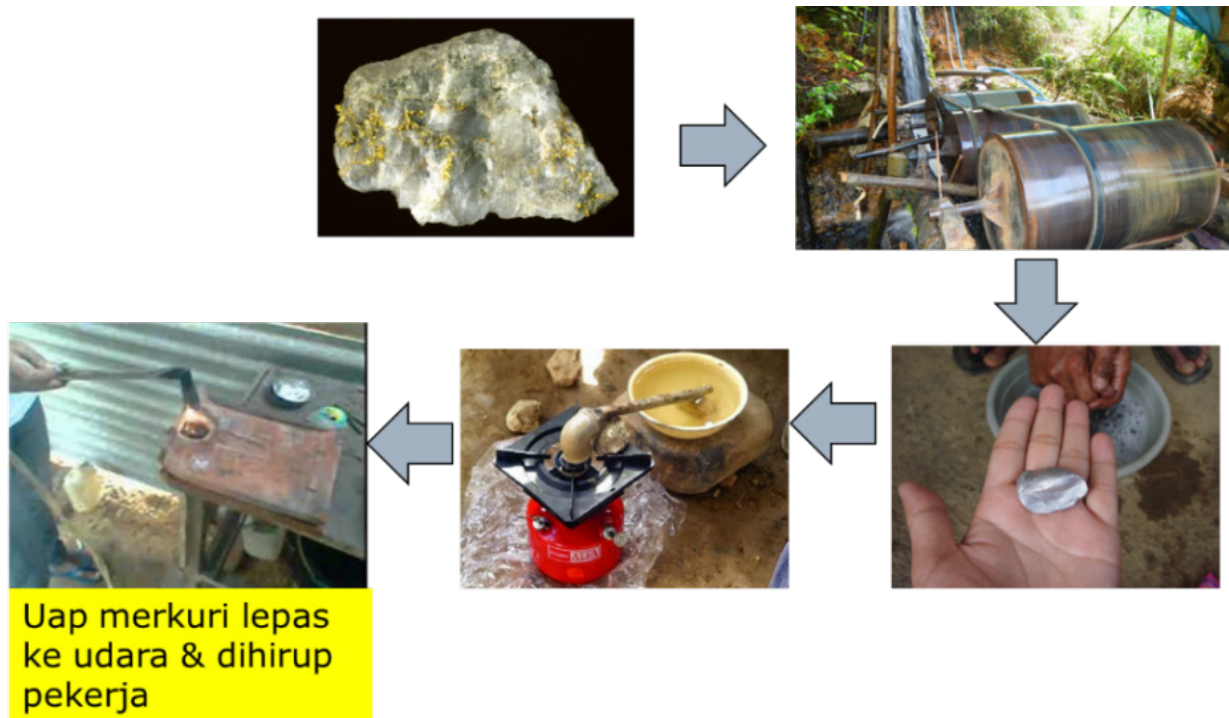
RINGKASAN

Artikel yang dibahas dalam buku ini memaparkan inovasi penstabil uap merkuri yang dapat dipakai baik di laboratorium yang rawan terpapar uap merkuri maupun pada aktivitas pengolahan emas tradisional menggunakan air raksa. Inovasi ini diringkas dengan judul penstabil uap merkuri dari sulfur nanopartikel yang terimobilisasi pada serbuk gergaji. Sulfur koloid memiliki partikel dalam rentang 1-1000 nm, pelet terbuat dari serbuk gergaji sehingga tidak menghambat aliran gas yang mengandung uap merkuri. Komposit pelet-S terbukti efektif menyerap uap merkuri yang sangat beracun dan menstabilkannya menjadi HgS yang sifat racunnya sudah sangat rendah. Pelet dapat dimasukkan dalam tabung penyerap yang dipasang pada kolom corong lemari asap atau dapur pembakaran amalgam emas, dan dapat pula digunakan sebagai adsorbent (penyerap) yang dipasang pada retort sederhana. Dengan formula yang sesuai pelet yang mengandung nano sulfur ini tidak buyar walaupun disimpan dalam jangka waktu yang lama (beberapa tahun), namun segera terurai jika dalam keadaan lembab, sehingga dengan sifat kompatibel ini, HgS yang terbentuk dapat dipisahkan dari pelet serbuk gergaji dengan dekomposisi alami. Senyawa merkuri dapat didaur ulang untuk dan terkontrol sehingga mencegah senyawa merkuri lepas lagi ke lingkungan. Inovasi ini sudah dipatenkan dan telah dipublikasi pada jurnal internasional bereputasi (Elsevier, Scopus, Q1) yang terbit tahun 2019.

I. PENDAHULUAN

Sumber emas di alam terdapat dalam tanah berpasir dan dalam batu-batuan. Jika terdapat dalam tanah berpasir maka butiran emas dapat dipisahkan dengan mendulang pasir/lumpur sehingga dapat dibedakan antara butiran emas dan pasir. Pekerja biasanya langsung mendapatkan butiran emas dan dapat dijual sehingga hampir tidak ada limbah merkuri kalau butiran emas tidak dimurnikan secara tradisional di lokasi itu. Dampak pencemaran lingkungan lebih kecil hanya erosi pada sungai dari aktivitas warga yang mendulang emas.

Sedangkan jika sumber emas terdapat dalam batuan maka batu harus digiling halus menjadi bubuk batu dan kemudian emas diekstrak dengan air raksa atau merkuri dalam air dengan alat drum berputar. Hasil ekstrak berisi campuran air raksa dan emas yang kemudian disebut amalgam emas. Tahap berikutnya yaitu pemisahan emas dengan air raksa yang dilakukan dengan penyulingan amalgam; air raksa mencair, dan mengalir terpisah dari emas. Emas yang sudah terpisah dimurnikan lagi dari sisa air raksa dengan membakar langsung seperti tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pengolahan emas secara tradisional

Pencemaran lingkungan sangat mungkin terjadi baik dari air limbah maupun uap merkuri. Namun karena kelarutan air raksa dalam air sangat kecil hanya 0,06 g per ton air raksa (Clever dkk, 1985) dan berat jenisnya (13,6 kg/L) yang jauh lebih berat dari air (1 kg/L) maka tidak mudah dihanyutkan oleh air dari reservoir atau bak penampung limbah. Teori ini menjadi sebab air sungai di daerah lokasi pengolahan emas masih tergolong normal sebagaimana dibuktikan oleh penelitian kadar merkuri di Sungai Krueng Sabee Aceh Jaya yang saat itu diduga tercemar merkuri (Adlim, 2016). Hal itu sangat berbeda kalau pengolahan emas melibatkan senyawa sianida (NaCN); jika limbahnya tidak diolah dan diawasi ketat maka dapat mencemari perairan hingga puluhan kilometer karena kelarutan garam sianida (NaCN) sangat mudah larut dalam air. Demikian juga jenis merkuri mempengaruhi tingkat keracunannya. Merkuri dalam bentuk logam atau air raksa memiliki sifat racun yang lebih rendah dari garam merkuri yang mudah larut seperti $Hg(NO_3)_2$. Sifat yang sangat mematikan yaitu merkuri organik, termasuk metil merkuri yang dapat menembus kulit (Adlim & Zarlaida, 2015). Kasus Minamata di Jepang tahun 1956 merupakan jenis merkuri organik tersebut yaitu alkil merkuri yang merupakan hasil sampingan dari reaksi perubahan senyawa etuna (C_2H_2) menjadi asetaldehid (CH_3CHO) menggunakan katalis merkuri sulfat, untuk pembuatan bahan baku plastik.

Sesungguhnya limbah yang lebih berbahaya dari air raksa itu sendiri adalah uapnya (uap air raksa) yang memang volatil karena dapat menguap walaupun pada suhu 20°C sementara suhu di Indonesia rata-rata 1991-2020 ialah 20.1°C - 28.6°C (<https://www.bmkg.go.id/iklim>). Pencemaran udara karena merkuri yang lepas ke atmosfer berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (merkuri yang terdapat dalam minyak bumi dan batu-bara), uapnya ternyata melewati antar negara (Huang 2017). Merkuri baik dalam bentuk uap apalagi ion merkuri sangat bersifat racun bagi hewan dan manusia. Pekerja tambang emas tradisional yang mengola emas dengan merkuri, sangat rawan terpapar uap merkuri pada saat pemisahan merkuri dari emas, manakalah mereka pisahkan melalui penyulingan dengan menggunakan alat sederhana yang disebut retort (Gambar 2a). Biasanya penambang tradisional menggunakan retort lebih sederhana, yaitu hanya sepotong pipa besi. Bahaya pencemaran terlibat ganda manakalah pekerja membakar langsung amalgam (campuran emas dan air raksa) di dalam ruangan yang tidak dilengkapi penyedot udara (*exhaust fan*) seperti tertera pada Gambar 2b. Hasil penelitian Lensoni dkk (2023), ternyata dari 75 dari 91 orang pekerja tambang tradisional dalam populasi 928 di daerah Aceh Jaya memiliki rata-rata kadar merkuri 8,39 µg/L (SD = 6,72 g/L) dalam urine mereka yang melebihi batas maksimum yang dibolehkan yaitu 7 µg/L.

Walau pun sudah ada alat yang lebih aman yang mencegah lepasnya merkuri ke udara namun hal itu hanya terdapat di tambang skala besar, penambang tradisional tetap mencari yang murah dan mudah dilakukan. Berdasarkan fakta tersebut para pakar kimia di Universitas Syiah Kuala telah meneliti, mengembangkan dan mempatenkan komposit penstabil uap merkuri (P00201811286) atas nama Prof. Adlim, M.Sc dkk yang dapat dipasang pada retort dan dapur pembakaran amalgam. Temuan ini menjadi inspirasi untuk pencegahan gas beracun lainnya sebelum dilepas ke lingkungan, dan menjadi contoh metoda mendekomposisi bahan penstabil tersebut secara alami.



Sumber foto : <https://48bc1abfae09393c.en.made-in-china.com/product/ITYporADqfcy/China-High-Quality-Gold-Refine-Mercury-Distiller-Mercury-Retort-for-Gold-Recovery.html>

(a)



Sumber foto : <https://finance.detik.com/>
<https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-2754903/tambang-emas-liar-di-sumbawa-bisa-raup-rp-300-juta-bulan>

(b)

Gambar 2 (a) retort yang modern atau semi modern buatan luar negeri; (b) aktivitas memurnikan emas dengan pembakaran langsung dalam dapur yang tidak dilengkapi penyedot uap

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1. Invensi yang lebih dulu ada

Banyak penelitian tentang teknik penyerapan ion merkuri namun penstabilannya menjadi zat yang relatif tidak lagi beracun dengan bahan yang relatif murah dan mudah digunakan belum banyak dilaporkan; apalagi informasi cara menstabilkan uap merkuri, ternyata masih sangat sedikit. Secara kuantitas sumber pencemaran uap merkuri lebih banyak berasal dari pembakaran batu-bara dan pembakaran amalgam pada proses pengolahan emas, sementara paten yang banyak dipublikasikan adalah penyerapan merkuri yang terdapat dalam pemurnian gas alam.

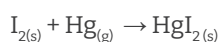
Invensi atau temuan yang berkaitan dengan pestabilan merkuri di antaranya ialah Paten US 4,876,025 yang menggunakan senyawa garam iodida dan poliol seperti gliserol dan sejenisnya tetapi merkuri iodida yang terbentuk juga masih bersifat racun. Bahan ini juga digunakan sebagai zat pembersih tumpahan logam merkuri (air raksa).

Paten US6942840B1 menerangkan metoda penyerapan uap logam merkuri dan species senyawa merkuri lainnya yang terdapat dalam gas alam menggunakan reagensia cair dari senyawa okidator yang mengandung oksigen. Uap Hg dan senyawa turunannya akan diendapkan dalam kolom menjadi campuran berbagai garam merkuri, oksida merkuri dan senyawa sulfida termasuk HgS yang stabil. Namun metoda ini perlu teknologi yang canggih untuk pemilihan wadah yang tahan korosif dan tahan terhadap tekanan tinggi. Sementara dalam endapan terdapat campuran berbagai garam jenis merkuri yang juga bersifat racun, serta sisa-sisa reagensia yang juga perlu penanganan yang khusus. Dengan demikian metode ini sukar diterapkan di industri kecil seperti penyulingan amalgam dan pengolahan emas.

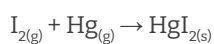
Paten berikutnya ialah Paten Eropa EP2476649 memaparkan penstabilan logam merkuri (air raksa) menggunakan bubuk belerang dalam matrik polimer semen (STX®). Air raksa dicampurkan dengan bahan tersebut dan diaduk secara mekanis dengan ball mill tetapi cara ini diperkirakan kurang praktis digunakan oleh penambang tradisional.

2.2. Menyerap uap merkuri dan menstabilkannya

Penyerap atau adsorbent untuk merkuri sudah banyak digunakan dan dipublikasikan namun yang utama adalah karbon aktif. Uap merkuri yang pindah ke karbon aktif, sifat racun tetap ada dan merkuri hanya pindah ke karbon aktif. Karbon aktif juga tidak efektif menyerap merkuri apalagi menstabilkannya. Kemudian berbagai penelitian telah memodifikasi karbon aktif dengan menambah senyawa termasuk iodin, sulfur, KMnO_4 sehingga dapat mengikat merkuri lebih banyak. Iodin yang ditambahkan dalam arang aktif akan membentuk senyawa HgI_2 sebagaimana yang dilaporkan Levchenko dkk (2014) dalam paper review mereka yang reaksi kimia dapat ditulis sebagai berikut.



Karena dioperasikan pada suhu tinggi pada 150–260 °C maka iodin berubah jadi fasa gas maka

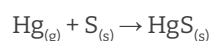


Beberapa kelemahan dari metoda ini yaitu sifat racun HgI_2 masih sangat tinggi jika dibandingkan HgS yang semestinya dapat juga terbentuk sebagaimana HgI_2 . MSDS HgI_2 adalah $\text{LD50} = 18 \text{ mg/kg}$ (Rat) (<https://www.lobachemie.com>); HgI_2 sedikit larut dalam air tapi memiliki *biocompatibility* dalam sistem biologi sehingga mudah membawa ion Hg dalam sel hidup bahkan dapat membentuk merkuri organik yang sangat beracun.

Kelemahan lain selain sifat racun HgI_2 yang tinggi dalam teknologi penstabilan merkuri menggunakan sistem karbon aktif-iodine adalah diperlukannya pemisahan HgI_2 dari karbon yang tidak mudah karena kedua zat sama-sama tidak larut dalam air. HgI_2 hanya dapat dipisahkan dengan asam nitrat pekat yang mahal, berbahaya dan sifat beracunnya justru berlipat ganda.

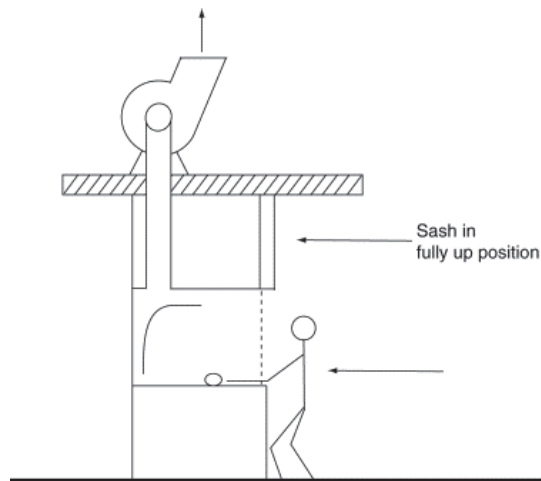
2.3. Inovasi dari peneliti USK

Dengan karakteristik tersebut dari pada merubah merkuri menjadi HgI_2 akan jauh lebih aman jika dapat dirubah uap merkuri menjadi merkuri sulfida (HgS) yang relatif tidak lagi beracun bahkan biji merkuri di alam pun yang disebut cinnabar juga memiliki komponen HgS . Reaksi antara uap merkuri dengan sulfur adalah



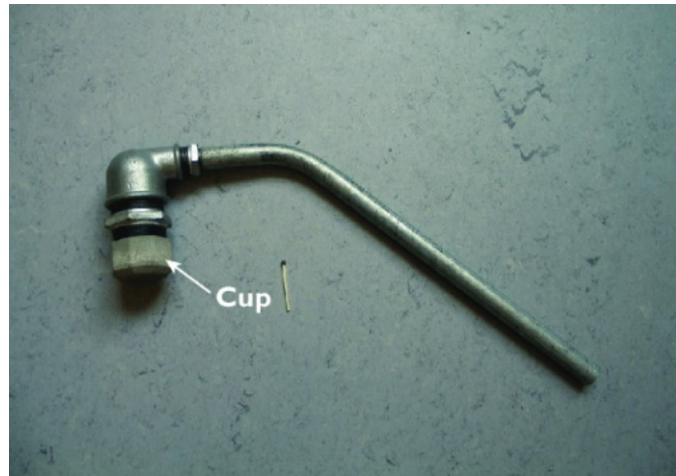
Namun reaksi ini lambat terjadi jika menggunakan sulfur biasa, tetapi akan berbeda jika sulfur yang digunakan adalah sulfur koloid. Dengan pertimbangan ini ilmuan di Universitas Syiah Kuala, yaitu Prof. Adlim, M.Sc; Alm Dr. Zarlaida Fitri, M.Sc; Dr. Ibnu Khaldun, M.Si dan Sofyatuddin Karina, M.Sc pada tahun 2018 telah mengkaji penggunaan sulfur koloid sebagai zat penstabil uap merkuri (Adlim dkk, 2019a; 2019b). Penyangga sulfur koloid adalah pelet mikro dari serbuk gergaji yang berpori dan permukaannya mudah mengikat sulfur koloid. Teknologi ini memiliki kelebihan dibandingkan penggunaan serbuk karbon aktif yang dapat menghambat aliran gas berisi uap merkuri. Pelet serbuk gergaji juga dapat secara alami terdegradasi sehingga memperkecil kuantitas zat penyerap ini (pelet) pada saat disimpan setelah digunakan. Jika pelet terdegradasi sempurna kandungan HgS nya juga dapat lebih mudah dipisahkan dengan cara yang aman dan murah.

Sulfur koloid disintesa menggunakan polimer alami yang disebut kitosan, yang berasal dari kulit udang. Penggunaan kitosan selain dalam menyerap dan menstabilkan sulfur koloid juga dapat meningkatkan penyerapan merkuri. Pelet sulfur koloid dapat digunakan untuk mengisi kolom penstabil merkuri di cerobong dapur pengolah amalgam yang disebut lemari asap (fumehood) seperti pada Gambar 3a, juga pada retort (Gambar 3b) sehingga mengurangi emisi merkuri terlepas ke udara dan terhirup.



Sumber foto : <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fume-hood>

(a)



Sumber foto : Peter Appel (2005)
https://www.researchgate.net/publication/294196363_Small-scale_mining_-_Hazards_and_opportunities_in_Kyrgyzstan_and_Mongolia/figures?lo=1

(b)

Gambar 3 (a) Fumehood atau lemari asap yang digunakan untuk mencegah uap beracun dihirup oleh pekerja; (b) Retort atau penyuling alanggam-emas sederhana yang biasa digunakan oleh penambang tradisional

III. HASIL TEMUAN

Telah berhasil disintesa pelet mikro berlapis kitosan sulfur koloid (Gambar 4a) yang dapat mestabilkan uap merkuri menjadi HgS yang tidak lagi beracun. Pelet mikro memiliki ukuran panjang rata-rata 5 mm dan tebal 3 cm (Gambar 4b) yang dibuat dengan mesin khusus. Formula pelet termasuk proporsi bahan pembuat pelet agar cara tidak mudah buyar jika disimpan di tempat kering dalam waktu yang lama (sudah 5 tahun sejak 2018), dan cara menghasilkan sulfur koloid berukuran partikel mikron termasuk bagian yang dipatenkan.



(a)



(b)

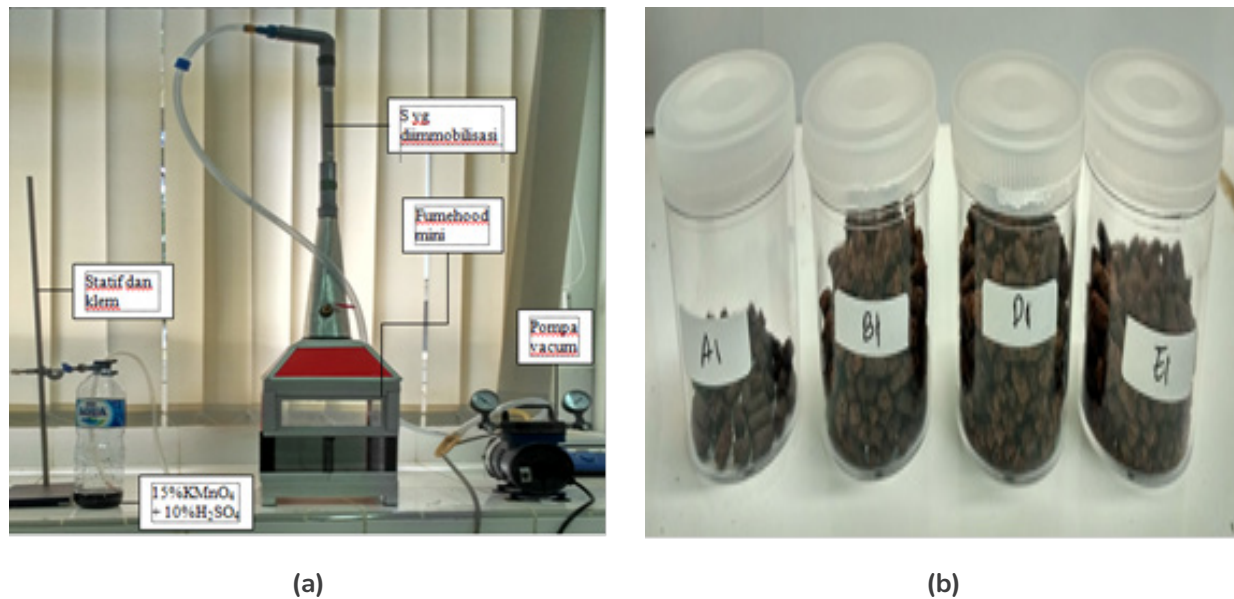
Gambar 4. (a) pelet serbuk gergaji mengandung sulfur koloid; (b) dimensinya

Telah dipelajari berbagai cara menghasilkan komposit yang paling efektif menyerap dan menstabilkan uap merkuri menjadi HgS yang relatif tidak beracun (Adlim dkk, 2019a & 2019b). Sebagai pembanding digunakan serbuk belerang biasa dan serbuk belerang yang dilarutkan dalam pelarut organik (CS₂). Hasil percobaan penyerapan merkuri sebagaimana dilihat pada Gambar 5(a) maka ternyata yang pelet yang paling efektif menyerap merkuri hampir 99% yaitu pelet yang mengandung sulfur koloid seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji efektifitas Pelet-sulfur koloid (P-S_{colloid}) pada penstabilan uap merkuri

No	Tipe Pelet	S pada permukaan	Waktu kontak (Menit)	Hg ⁰ terserap per gram S		Hg ⁰ tertahan pada reaktor (%)
		(%berat)		mg.g ⁻¹	mg.g ⁻¹ .min. ⁻¹	
1	P-S _{powder}	32,20	20	2,41	0,12	57,67
			60	7,89	0,13	75,17
2	P-S _{CS2}	6,64	20	10,35	0,52	85,52
			60	18,37	0,31	89,09
	P-S _{colloid}	0,09	20	11,44	0,57	95,15
			40	796,64	19,92	97,38
			60	1108,14	18,47	99,36

Berdasarkan data XRF mengandung pelet sulfur dan SO₃ masing-masing 5% berat. Jika direndam dalam air pelet memiliki pH 5 kondisi yang sesuai agar sulfur dapat bereaksi dengan uap merkuri. Pelet yang telah digunakan berubah menjadi kehitaman (Gambar 5b), dan telah dikonfirmasi dengan menggunakan alat sepektroskopi serapan atom (AAS), pelet terbukti telah menyerap merkuri dan bersenyawa dengan sulfur membentuk senyawa HgS.

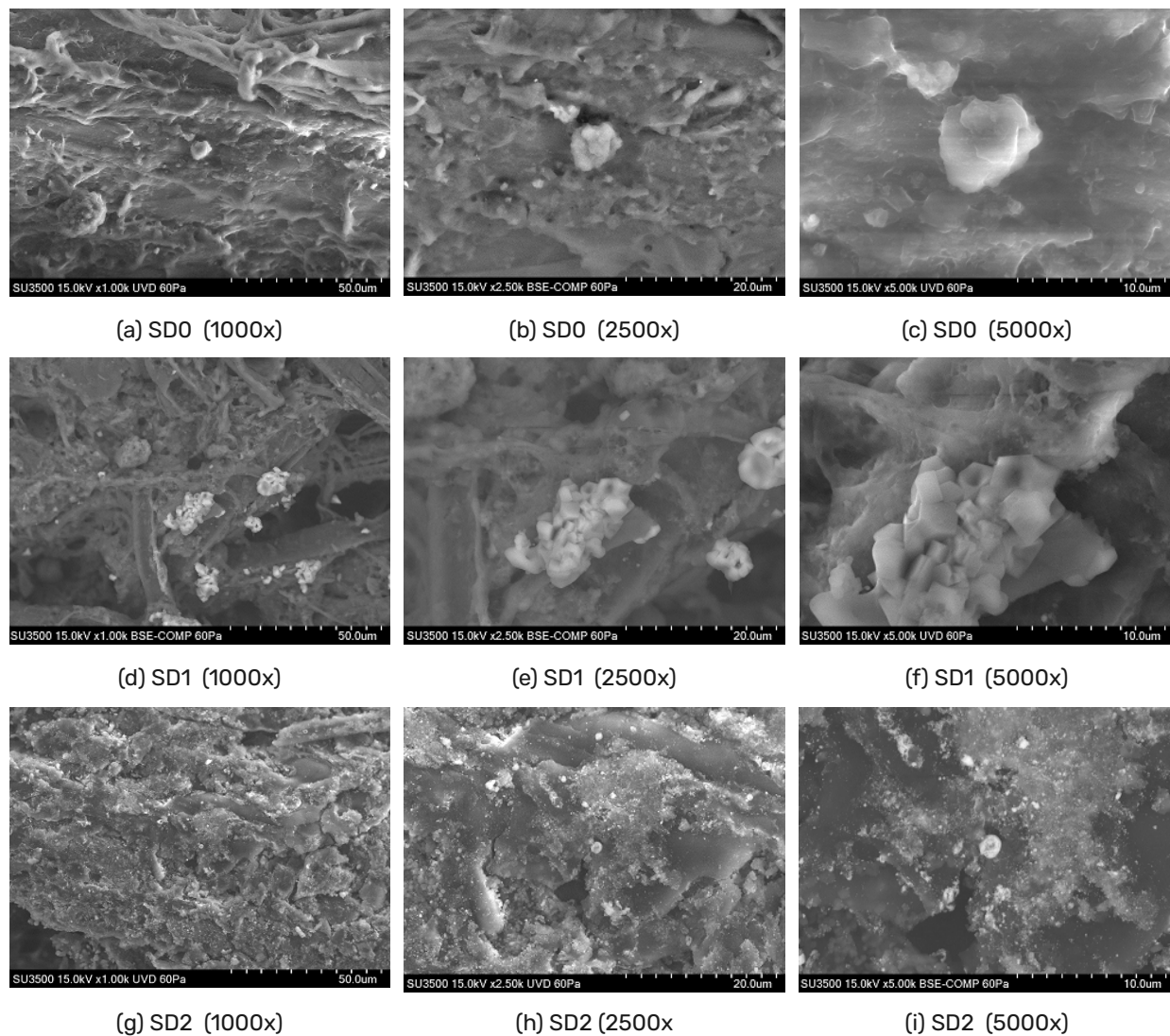


Gambar 5 (a) pemasangan pelet pada kolom penyedot uap merkuri dari pembakaran amalgam-emas; (b) sampel pelet setelah menyerap uap merkuri

Pelet mikro tersebut dapat selain menyerap uap merkuri hasil pemanasan, juga efektif menyerap menyerap uap merkuri dari hasil pembakaran amalgam dalam fumehood.

Kapasitas absorpsi pelet serbuk gergaji adalah 0.1184 ± 0.04 g Hg per g of pelets dan untuk 12,5 g pelet dapat menetralkan maksimum 2,26 g uap merkuri. Ketika pelet mikro serbuk gerjagi dipasang pada cerobong penyerap, ternyata hanya 4-7% merkuri yang lepas ke udara selebihnya terserap dan distabilkan oleh pelet. Pelet serbuk gergaji memiliki kharakteritik yang terbaik namun pelet berbahan abu sekam padi lebih tahan digunakan pada pada suhu tinggi (Adlim dkk, 2019a).

Hal yang menarik sekaligus menjadi bukti reaksi yang terjadi ialah perubahan permukaan pelet sebelum (6a-c) dan sesudah dimobilisasi sulfur (6c-f) dan sesudah terjadi pembentukan HgS dipermukaan pelet (6g-i).



Gambar 6. Foto SEM perubahan permukaan pelet;

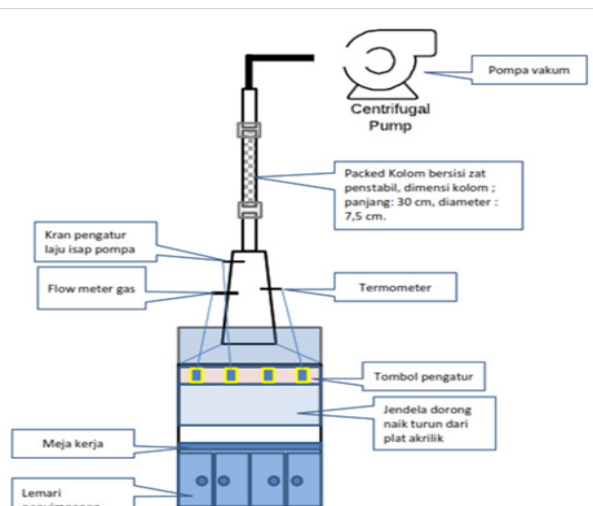
(a-c) : sebelum immobilisasi sulfur koloid;

(d-f) : sesudah immobilisasi sulfur koloid dan sebelum menyerap merkuri;

(g-i) : setelah immobilisasi sulfur dan setelah menyerap uap merkuri.

Dapat dilihat bahwa sebelum diimmobilisasi sulfur tidak terlihat adanya kristal senyawa. Setelah immobilisasi tampak kristal sulfur koloid yang dikonfirmasi dengan data XRD (6f). Senyawa padat yang merupakan HgS terlihat di Gambar 6(g-i).

Penstabil uap merkuri dari sulfur nanopartikel yang terimmobilisasi pada serbuk gergaji



SUDAH DIPATENKAN

$\text{Hg} + \text{S} \rightarrow \text{HgS}$ yang terimmobilisasi pellet serbuk gergaji



KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIC INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL
Jl. H.R. Rasuna Said Kav 8-9, Kuningan, Jakarta Selatan, 12940
Telepon: (021) 57905611 Faksimili: (021) 57905611
Laman: <http://www.dgip.go.id> Surel: dopatent@dgip.go.id

BIBLIOGRAFI DATA

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| (54) Judul Invensi | : | Metoda Penstabilan Merkuri Menggunakan Pelet Mikro Berlapis Sulfur Koloid untuk Mengatasi Pencemaran Uap Merkuri Pada Penyulingan Amalgam |
| (51) Klasifikasi (IPC) | : | Int.Cl./ |
| (21) Nomor Permohonan | : | P00201811286 |
| (22) Tanggal Penerimaan | : | 31 Desember 2018 |
| (71) Yang mengajukan permohonan paten | : | LPPM Universitas Syiah Kuala |
| (72) Inventor | : | Prof. Dr. Adlim, M.Sc.
Dra. Zarlaida Fitri, M.Sc.
Dr. Ibnu Khaldun, M.Si.
Sofyatuddin Karina, S.Si., M.Sc. |

Gambar 7. Invensi yang sudah didaftarkan paten

Dengan formula yang sesuai pelet tidak buyar dalam beberapa tahun (sejak 2018-sekarang). Tetapi pelet segera terurai dalam keadaan lembab sehingga secara alami dapat memisahkan senyawa HgS untuk didaur ulang menghasilkan senyawa merkuri dan turunannya secara terkontrol di dalam laboratorium. Invensi ini sudah didaftarkan paten sebagaimana Gambar 7. Hasil kajian ini telah dipublikasi pada jurnal internasional bereputasi (Elsevier, Scopus, Q1) terbit tahun 2019.

IV. KESIMPULAN

Pemakaian serbuk gergaji menjadi pelet penyanggu sulfur nanopartikel selain efektif membuat partikel sulfur terdispersi juga dapat mencegah terjadinya hambatan fluida ketika komposit ini nantinya digunakan sebagai penjerap uap atau gas apalagi pada tekan tinggi. Dengan menggunakan komposisi dan jenis perekat serta kehalusan serbuk gergaji yang tepat maka komposit ini menjadi stabil atau tidak mudah buyar walau pun sudah disimpan dalam jangka waktu yang lama. Namun dapat segera terurai secara alami dalam keadaan lembab sehingga menghasilkan sifat compatible yang sesuai bila mana dimaksudkan untuk memisahkan kembali HgS dari pelet. Teknik yang tepat untuk sintesa sulfur nanopartikel di atas permukaan pelet tidak hanya berhasil membuat diameter rata-rata partikel sulfur dalam rentang ukuran nanometer melainkan juga efektif menstabilkan uap merkuri yang beracun tinggi menjadi HgS yang sifat racunnya sudah sangat rendah. Pelet-S dapat dimasukkan dalam tabung penjerap yang dipasang pada kolom corong lemari asap atau dapur pembakaran amalgam emas bahkan dapat juga dipakai sebagai absorbent (penyerap) yang dipasang pada retort yang paling sederhana. Tidak seperti komposit penyangga yang lain, HgS dapat dipisahkan dari pelet serbuk gergaji karena pelet mengalami dekomposisi dalam lingkungan yang lembab sehingga secara alami dapat memperkecil volume komposit yang telah menyerap limbah dan HgS yang terbentuk dapat didaur ulang agar terkontrol, dan juga mencegah senyawa merkuri lepas lagi ke lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi kami sampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan pendanaan pada penelitian ini pada tahun 2017 dengan nomor hibah: 1442/UN11/SP/PNBP/2017. Sebagian analisis dari penelitian ini turut dibiayai oleh Hibah Penelitian Dasar 203/PKIMIA/6711596 dari Kementerian Pendidikan Tinggi, Malaysia. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada beberapa laboratorium atas pembuktian analisis sampel, konfirmasi hasil dan komunikasi yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlim, M., Karina, S., Zarlaida, F., Khaldun, I., Fadila, N. A., Bakar, N. H. H. A. (2019a). Stabilizing method for mercury vapor release from burning amalgam mimicking the practice of artisanal small scale gold mining, *Environmental Technology & Innovation*, 13, 74–81.
- Adlim, M., Zarlaida, F., Khaldun, I., Dewi, R., Karina, S., Omar, A. F. (2019b). Immobilization of Sulfur from Different Precursors on Mini Rice-Husk-Ash Pellet Coated Chitosan Film and the Application for Mercury Vapor Uptake *Indones. J. Chem.*, 2019, 19 (2), 386 – 394.

- Adlim, M., Zarlaida, F. (2015). Chitosan based chemical sensors for determination of mercury in water: a review, *AACL Bioflux*, 8(5), 656-666.
- Adlim, M. (2016) Pencemaran merkuri di perairan dan karakteristiknya: suatu kajian kepustakaan Ringkas, *Depik*, 5(1): 33-40, DOI: <http://dx.doi.org/10.13170/depik.5.1.3968>
- Clever, H. L., Johnson, S. A., Derrick, M. E. (1985). Solubility mercury and mercury salt in water and aquos solutions. *Journal Physical Chemistry Reference Data*, 14, 631-680.
- <https://www.lobachemie.com/lab-chemical-msds>
- Huang, Y., Meihua Deng, M., Li, T., Japenga, J., Chen, Q., Yang, X., He, Z (2017). Anthropogenic mercury emissions from 1980 to 2012 in China. *Environmental Pollution*, 226, 230–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.059>.
- Lensoni, L., Adlim, M., Kamil, H., Karma, T., Suhendrayatna, S., (2023). Identification and correlation test of mercury levels in community urine at traditional gold processing locations. *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 357–365
- Levchenko, L. M., Galitsky, A. A., Kosenko, V. V., Mitkin, V. N., Sagidullin, A. K.
- Shavinsky, B. M. (2014). Adsorbents for mercury vapour recovery in demercuration technology, *Adsorption Science & Technology*, 32(8), 693-705.

“LITUNA” TEKNOLOGI PENGALANGAN PANGAN MENJADI PRODUK KOMERSIAL

Sri Haryani^{1*}, Hafidh Hasan², Syarifah Rohaya¹

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

²Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: sri.haryani@usk.ac.id

RINGKASAN

Artikel ini bertujuan untuk memaparkan proses hilirisasi sebuah produk hasil penelitian yang dilakukan oleh tim dosen di Universitas Syiah Kuala (USK). Tahapan yang disajikan meliputi finalisasi prototipe produk, pendirian badan usaha, pengurusan izin edar, sertifikasi halal, dan komersialisasi produk. Hilirisasi didasarkan pada penelitian teknologi “*in-container processing*” yang memanfaatkan panas (*thermal*) untuk mensterilkan produk pangan langsung dalam kemasan. Penelitian dilakukan sejak tahun 2018-2020 (Penelitian Unggulan USK-PUU) dilanjutkan dengan hilirisasi tahun 2021 dan 2023 (Hibah Hilirisasi dan Inovasi USK-H2IU). Tujuan sterilisasi produk pangan adalah untuk membunuh mikroorganisme tahan panas yang berbahaya bagi kesehatan seperti *Clostridium botulinum*. Makanan kaleng harus steril secara komersial yang berarti jika ada mikroba yang masih bertahan hidup, mikroba tersebut tidak dapat tumbuh dan merusak makanan yang dikalengkan dalam kondisi penyimpanan pada suhu ruang. Output utama dari hasil riset ini adalah produk pangan dengan merek “Lituna”. Produk ini adalah hasil olahan ikan yang dalam Bahasa Aceh disebut ‘keumamah’, yang siap untuk dimakan (siap saji) dan dikemas dalam kaleng. Produk ini termasuk dalam kategori produk pangan steril komersial dan dapat disimpan pada suhu ruang selama 2 (dua) tahun tanpa bahan pengawet. Hal ini karena proses sterilisasi yang telah dilalui produk dan dilakukan secara higienis. Lituna telah dikomersialkan sejak bulan Maret tahun 2022 dengan nomor izin edar (NIE) BPOM RI MD 543901001107, telah tersertifikasi halal LPPOM MPU Aceh dan BPJPH Kemenag RI sejak Maret 2024. Lituna telah menjadi produk pangan tradisional bergizi yang disukai masyarakat dan perlahan telah menjadi oleh-oleh khas Aceh yang digemari berbagai kalangan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi peneliti lain dan siapa saja yang membacanya.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan wilayah perairan yang sangat luas, sumber daya perikanan Indonesia sangat melimpah, namun

pemanfaatannya belum maksimal, termasuk di Provinsi Aceh. Ikan dengan potensi ekspor yang sangat tinggi adalah tuna, baik dalam bentuk tuna gelondongan, fillet beku, maupun tuna dalam kaleng. Selain tuna, ikan tongkol yang termasuk dalam family *Thunnus sp.* juga sangat melimpah ketersediannya di Aceh. Ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) atau dikenal pula dengan istilah eastern little tuna, tersedia hampir sepanjang tahun di Provinsi Aceh dan telah menjadi sumber perekonomian masyarakat sejak lama, khususnya bagi para nelayan dan pengusaha ikan kayu (keumamah). Ketersediaan ikan tongkol yang melimpah inilah yang menjadi inspirasi bagi tim peneliti untuk menggali potensi ini dan mencoba membuat produk inovasi yang bernilai ekonomis, berdaya saing dan bermanfaat bagi masyarakat. Sejak tahun 2018-2020, tim mendapat hibah penelitian terkait dengan penerapan teknologi “in-container processing”. Teknologi ini memanfaatkan panas (thermal) untuk mensterilkan produk langsung dalam kemasan. Kemasan yang digunakan adalah kaleng (can) dan telah dihasilkan beberapa produk pengalengan yang dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama pada suhu ruang dan tanpa bahan pengawet.

Makanan kaleng (can foods) harus steril secara komersial (commercially sterile) yang berarti jika ada mikroorganisme bertahan hidup, mikroba tersebut tidak dapat tumbuh dan merusak makanan yang dikalengkan dalam kondisi penyimpanan pada suhu ruang. Masalah yang sering terjadi dalam pengalengan adalah timbulnya kasus-kasus keracunan makanan yang berbahaya karena tidak sempurnanya proses pengalengan. Proses yang tidak higienis, tidak mengikuti prosedur “good manufacturing practice” menjadi pemicu timbulnya masalah ini. Oleh karena itu, proses sterilisasi pada pengalengan sangat penting untuk membunuh semua mikroorganisme tahan panas yang berbahaya bagi kesehatan seperti *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* dan *Bacillus sporothermodurans*.

1.2. Road-Map Invensi

Pada tahun 2018, telah dilakukan penelitian optimasi kondisi sterilisasi ikan tuna yang dikalengkan dengan kombinasi suhu dan waktu sterilisasi yang tepat menggunakan alat pressure canner berkapasitas 24 L. Dihasilkan dua produk pengalengan, yaitu canned tuna-in-brine dan canned tuna-in-palm oil. Pada tahun 2019, produk yang disterilisasi adalah keumamah tumis. Keumamah tumis tidak dapat bertahan lama jika disimpan pada suhu ruang, oleh karena itu diperlukan proses sterilisasi yang tepat agar umur simpan lebih panjang. Pada tahun 2020, dilakukan finalisasi produk dan uji penyimpanan produk yang sudah dihasilkan tahun 2018 dan 2019. Pada tahun 2021, prototipe keumamah tumis dalam kaleng yang telah teruji, dihilirisasi. Tahun 2023, pengurusan sertifikasi halal nasional dilakukan melalui Lembaga Pemeriksa Halal (LPH USK). Dari rangkaian penelitian dan hilirisasi, telah diperoleh beberapa hal penting sebagai berikut:

- a. Produk sudah dikomersialkan sejak bulan Maret 2022 dengan Nomor izin edar (NIE) BPOM RI MD 543901001107
- d. Paten terdaftar dengan judul: Proses Pembuatan Ikan Kayu (Keumamah) Tumis Siap Saji dalam Kemasan Botol dan Kaleng ke DJKI Kemenkumham dengan No Pendaftaran P00202006345, tanggal 29 Agustus 2020 (Anwar, Hasan and Rohaya, 2020).
- e. Publikasi pada Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan (Sinta 2), dengan judul: Kualitas Tuna Kaleng dari Perairan Aceh yang Disterilisasi dengan Pressure Canner (Anwar et al., 2021).
- f. Telah published 3 artikel pada Prosiding Terindex Scopus, yaitu:

1. Thermal penetration study for the purpose of formulating sterilization procedures of yellowfin tuna canning, IOP Conf. Series: EES, Vol 207/ 012052/2018 (Hasan et al., 2018)
 2. Optimizing the sterilization process of canned yellowfin tuna through time and temperature combination, IOP Conf. Series: EES, Vol. 425/012031/2020 (Anwar et al., 2020a)
 3. Canning of Traditional Acehnese Food Made by Dried Little Tuna (*Euthynnus affinis*) Using Two Sterilization Methods, IOP Conf. Series: MSE, Vol. 845/012023/2020 (Anwar et al., 2020b).
- g. Lituna telah mendapat sertifikasi nasional dari Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal (BPJPH) Kementerian Agama Republik Indonesia dengan nomor sertifikat ID 11110016240681023 yang dikeluarkan pada tanggal 13 Maret 2024.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1. Konsep Hilirisasi Hasil Penelitian menjadi Produk Inovasi Komersial

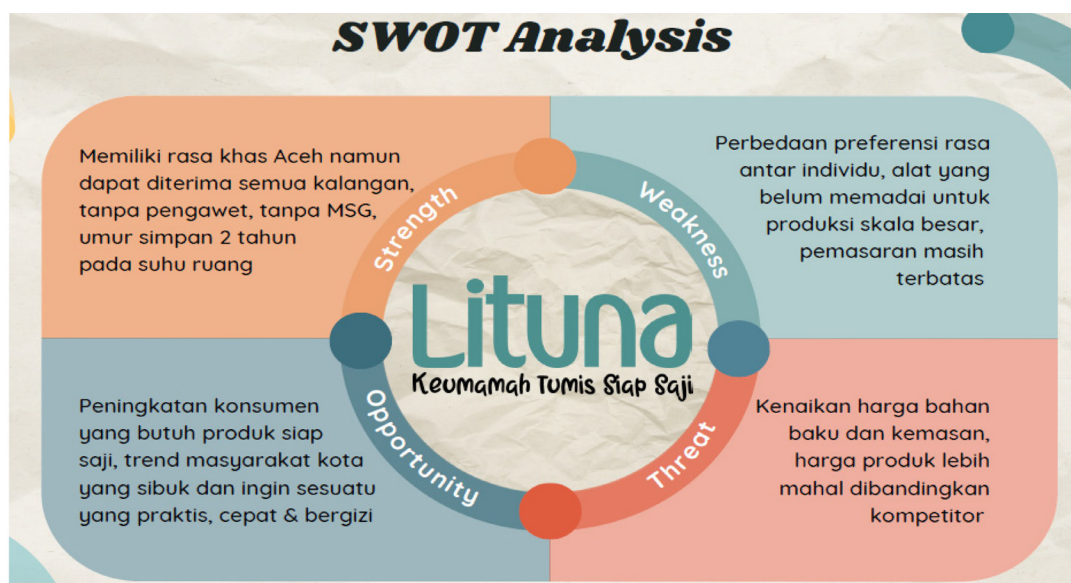
“Lituna” adalah sebuah *brand* dari produk olahan ikan yang dalam Bahasa Aceh disebut ‘keumamah’, yang telah ditumis dan siap untuk dimakan (siap saji) dan dikemas dalam kaleng. Produk ini adalah salah satu produk pangan steril komersial yang dapat disimpan pada suhu ruang selama 2 (dua) tahun tanpa bahan pengawet. Hal ini dimungkinkan karena proses sterilisasi yang telah dilalui produk dan dilakukan secara higienis. Konsep hilirisasi Lituna dapat dilihat pada Gambar 1 dan SWOT Analysis juga telah dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.

2.2. Konsep Sterilisasi

Makanan yang disterilisasi (*can foods*) harus steril secara komersial (*commercially sterile*) yang berarti jika ada mikroorganisme yang bertahan hidup, mikroba tersebut tidak dapat tumbuh dan merusak makanan yang dikalengkan dalam kondisi penyimpanan pada suhu ruang. Pengalengan dan pembotolan merupakan salah satu cara pengawetan dan penyimpanan produk dalam wadah kaleng (*can*) atau botol (*jar*) yang dikemas secara hermetis dan disterilkan sehingga dihasilkan produk yang tidak mudah rusak baik secara fisik, kimia, maupun biologis.



Gambar 1. Konsep inovasi yang dikembangkan pada produk Lituna



Gambar 2. Analisis SWOT Lituna

2.2. Konsep Sterilisasi

Makanan yang disterilisasi (*can foods*) harus steril secara komersial (*commercially sterile*) yang berarti jika ada mikroorganisme yang bertahan hidup, mikroba tersebut tidak dapat tumbuh dan merusak makanan yang dikalengkan dalam kondisi penyimpanan pada suhu ruang. Pengalengan merupakan salah satu cara pengawetan produk yang dikemas secara hermetis dan disterilkan sehingga dihasilkan produk yang tidak mudah rusak baik secara fisik, kimia, maupun biologis.

Sterilisasi bertujuan untuk membunuh sebanyak mungkin mikroorganisme tahan panas yang berbahaya bagi kesehatan seperti *Clostridium botulinum*, *Bacillus stearothermophilus* dan *B. sporothermodurans*, sehingga produk pengalengan memiliki umur simpan yang panjang. Dalam pengalengan dikenal istilah ketahanan panas mikroba (D_r) yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mengurangi populasi mikroba hingga 90% atau satu siklus logaritmik pada suhu yang konstan (T). Perubahan suhu yang menyebabkan pengurangan 10 kali lipat nilai- D (*decimal reduction time*) disebut dengan nilai z (*z-value*).

Agar diperoleh pengurangan jumlah mikroba yang diinginkan maka perlu ditentukan siklus logaritma pengurangan mikroba untuk menghitung nilai sterilitasnya pada suhu tertentu (F_0). Nilai F_0 dapat dihitung pada suhu standar atau suhu tertentu. Sebelum menghitung nilai F_0 perlu diketahui nilai D dan nilai z terlebih dahulu. Nilai F_0 tersebut ditentukan sebelum berlangsungnya proses thermal (Brennan, 2011). Nilai F_0 merupakan waktu (menit) pada 121.1 yang dibutuhkan untuk memusnahkan sejumlah mikroba tertentu yang memiliki nilai z sama dengan 10 (Nurhikmat, Kurniadi and Susanto, 2009).

Standar mutu produk pengalengan ikan secara umum telah ditetapkan Dirjen Perikanan yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 01-2712.1-2013) dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan mutu dan keamanan ikan dalam kemasan kaleng hasil sterilisasi

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
a. Sensori	angka (1–9)	minimal 7
b. Kimia***		
Histamin	mg/kg	maks 100
b. Cemaran mikroba*:		
- ALT Aerob	koloni/g	<1 x 10 ¹
- ALT Anaerob	koloni/g	<1 x 10 ¹
- <i>Clostridium perfringens</i>	-	<1 x 10 ¹
c. Cemaran Kimia:		
- Arsen (As)	mg/kg	maks 1.0
- Kadmium (Cd)	mg/kg	maks 0.1; maks 0.5**
- Merkuri (Hg)	mg/kg	maks 0.5; maks 1.0**
- Timah (Sn)	mg/kg	maks 40
- Timbal (Pb)	mg/kg	maks 0.3; maks 0.4**
d. Cemaran Fisika*		
- Filth		0
Bobot Tuntas,		
- Pelagis kecil	%	min 50
- Pelagis besar	%	min 60
Catatan:		
* Bila diperlukan		
** Untuk ikan predator		
*** Untuk ikan scombridae (scombroid), clupeidae, pomatomidae, coryphaenidae		

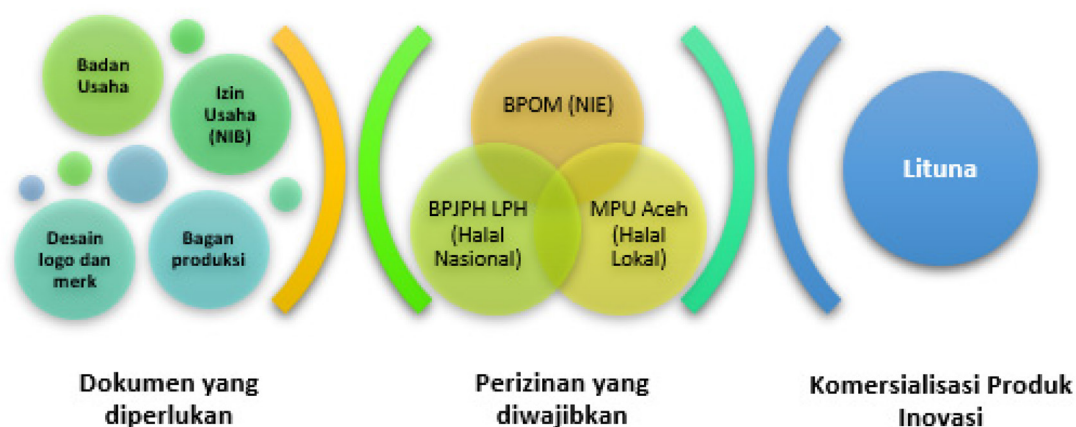
Sumber: BSN, (2013).

2.4. Heat penetration study (HPS), pengukuran nilai lethality serta F₀

Tahapan penting yang harus dilakukan sebelum melakukan proses pengalengan adalah pengukuran kecukupan panas selama proses sterilisasi. HPS diawali dengan meletakkan *thermocouple* yang dilengkapi dengan *data logger* di bagian tengah produk, sebelum kaleng ditutup (Hasan et al., 2018) untuk mengukur *lethality rate* yang diterima oleh produk khususnya di bagian tengah pada titik terlambat yang menerima panas atau the *slowest heating point* (SHP). *Thermocouple* ini di-*setting* untuk merekam data sejak proses *exhausting*, sterilisasi dan pendinginan. Setelah sterilisasi selesai, *thermocouple* dikeluarkan untuk dibaca menggunakan *docking system* dan *software*. Tujuan akhir dari pengukuran panas ini adalah untuk mendapatkan nilai Fo. Pengujian kualitas Lituna sudah dilakukan yang meliputi uji kecukupan panas, distribusi panas, validasi nilai Fo, analisa kimia, mikrobiologi, uji penyimpanan, dan cemaran logam (Anwar et al., 2020b), serta uji sensorial yang meliputi uji hedonik (kesukaan) dan deskripsi oleh panelis terlatih.

III. HASIL/TEMUAN

Proses hilirisasi Lituna yang awalnya merupakan produk hasil riset menjadi produk komersial telah melalui berbagai tahapan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut. Ada banyak dokumen yang diperlukan sebagai bagian dari proses untuk memperoleh izin atau regulasi sehingga Lituna dapat dijual secara komersial dan legal.



Gambar 3. Tahapan Hilirisasi Produk Inovasi Lituna

3.1. Pengurusan Izin Edar BPOM

Produk pangan steril komersial atau produk pangan yang dikemas dalam kaleng untuk dapat dikomersialkan dan diproduksi massal membutuhkan nomor izin edar (NIE) dari BPOM. Untuk mengantongi NIE, BPOM mensyaratkan 9 (sembilan) dokumen yang harus dilengkapi, yaitu:

1. Adanya sebuah badan usaha (dibuktikan dengan akte notaris)
2. Izin Usaha Berbasis Resiko (sesuai dengan sistem OSS RBA)
3. NPWP
4. Tangkapan Layar Nilai Investasi yang dimasukkan di OSS
5. Denah Ruang Produksi
6. Denah Lokasi Pabrik
7. Alur Proses Produksi
8. Alat-alat yang digunakan
9. Komposisi Produk

3.2. Persiapan ruang produksi

Berdasarkan syarat tersebut di atas, sebuah badan usaha mutlak harus ada, demikian pula dengan izin usaha, ruang produksi yang terpisah dari rumah tinggal dan seterusnya. Oleh karena itu, tim peneliti memutuskan untuk mendirikan sebuah badan usaha agar semua proses hilirisasi dapat dimulai. Kemudian berdirilah CV. Layar Era yang bertujuan untuk menghilirisasi Lituna. Pendirian CV. Layar Era merupakan salah satu syarat utama yang sejak awal harus dipenuhi agar Lituna memiliki “rumah” untuk pengurusan dokumen lainnya yang saling terkait.

Tim peneliti memiliki sebuah ruang sederhana yang tidak terpakai yang kemudian direnovasi sehingga memenuhi kriteria higienis dan sesuai standar yang disyaratkan BPOM. Ruang produksi diperbaiki pada bagian lantai agar mudah dibersihkan, dilengkapi dengan instalasi listrik untuk mensupport proses produksi. Syarat ruang produksi yang baik harus memiliki toilet yang terpisah dari ruang utama dan ruang penyimpanan.

3.3. Desain logo, merk, label produk dan pendaftaran HKI

Brand “Lituna” berasal dari singkatan kata Little Tuna, yang merupakan istilah dalam Bahasa Inggris untuk ikan tongkol. Merek harus dilengkapi dengan logo dan keduanya harus diletakkan bersama-sama dalam satu label yang harus didesain khusus. Merek (kata dan lukisan) Lituna serta etiket gambar (logo) telah terdaftar pada Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual-RI dengan No IDM000991322 dan sertifikat telah terbit tanggal 31 Agustus 2022. Desain label berikut logo, gambar, warna, ukuran, kata-kata yang tercantum pada label, dan penempatan logo dan nomor sertifikasi halal harus diperiksa dan disetujui oleh Badan POM sebelum dapat digunakan oleh pelaku usaha.

3.4. Pengurusan Izin Usaha

Dokumen yang harus disiapkan adalah Permohonan Pemenuhan Komitmen kepada Walikota Banda Aceh, Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantaun Lingkungan Hidup (SPPL), pengurusan NPWPD berbagai dokumen lainnya.

3.5. Produksi Ujicoba Lituna untuk Uji Sensori and *Brand Awareness*

Sambil menunggu keluarnya NIE, sertifikat halal dan berbagai izin lainnya, tim peneliti melakukan uji sensori untuk melihat persepsi 10 panelis terlatih terhadap profil produk Lituna yang sudah final. Uji dilakukan terhadap masakan keumamah tumis sebelum dikalengkan dan setelah dikalengkan, untuk melihat perbedaan keduanya. Uji sensori terdiri dari uji hedonik (kesukaan) dan uji deskripsi dan dilakukan di Laboratorium Uji Sensori, Prodi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, USK.

3.6. Pengajuan Sertifikasi Halal Nasional

Meskipun pada tahun 2023 Lituna telah memperoleh sertifikat halal LPPOM MPU Aceh, namun ternyata sertifikasi ini hanya bersifat lokal dan Lituna tidak boleh dijual secara nasional diluar Provinsi Aceh. Oleh karena itu, diperlukan sertifikasi baru dari BPJPH. Tahap pengajuan sertifikasi halal BPJPH adalah sebagai berikut:

- Membuat akun Si Halal
- Melakukan pendaftaran dalam negeri
- Pada tahap ini dicantumkan bahwa asal pelaku usaha berasal dari dalam negeri, dan mencantumkan kategori usaha dan Nomor Induk Usaha (NIB).
- Melengkapi data pelaku usaha berupa:
 - a. Profil perusahaan;
 - b. Data penanggung jawab;
 - c. Data aspek legal; meliputi jenis legal, nomor dokumen, tanggal masa berlaku dan instansi penerbit;
 - d. Data penyelia halal.
- Stacking dan status pendaftaran

Beberapa dokumen yang diperlukan dalam pengurusan halal BPJPH adalah:

- a. Nomor Induk Berusaha (NIB)
- b. Nomor Pokok Wajib Pajak (NPWP)
- c. SK penunjukan personil sebagai penyelia halal
- d. Kartu Tanda Penduduk (KTP) penyelia halal
- e. Daftar riwayat hidup penyelia halal
- f. Sertifikat pelatihan penyelia halal
- g. Daftar nama produk dan bahan/barang
- h. Proses pengolahan produk

Proses sertifikasi halal nasional ini telah dilakukan pada tahun 2023 dan sertifikat halal BPJPH telah diperoleh pada bulan Maret 2024.

3.7. Produk komersial Lituna

Setelah memperoleh NIE pada bulan Maret 2022, Lituna mulai dipasarkan secara resmi baik secara langsung, maupun melalui toko-toko souvenir dan swalayan di Banda Aceh, serta secara online melalui Tokopedia dan Shopee. Animo masyarakat terhadap Lituna sangat menggemblirakan. Lituna juga kerap hadir pada berbagai event expo di lingkungan USK, Banda Aceh maupun nasional. Produk Lituna yang sudah komersial dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun komposisi nilai gizi produk dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Nilai Gizi Produk Keumamah Tumis Siap Saji “Lituna”*

Parameter	Satuan	Hasil	Metode Uji / Teknik
Kadar Air	%	68,9	SNI 01-2891-1992, butir 5.1
Kadar Abu	%	1,94	SNI 01-2891-1992, butir 6.1
Protein (N x 6,25)	%	13,2	SNI 01-2891-1992, butir 7.1
Lemak	%	9,59	SNI 01-2891-1992, butir 8.2
Karbohidrat	%	6,37	IK.7.2.3(Cara Perhitungan)
Asam Lemak jenuh			
Asam Kaproat (C6-0)	%	0	MU/INST/I (GC)
Asam Kaprilat (C8-0)	%	0	MU/INST/I (GC)
Asam Kaprat (C10-0)	%	0	MU/INST/I (GC)
Asam Laurat (C12-0)	%	0,05	MU/INST/I (GC)
Asam Miristat (C14-0)	%	0,10	MU/INST/I (GC)
Asam Palmitat (C16-0)	%	2,93	MU/INST/I (GC)
Asam Stearat (C18-0)	%	0,34	MU/INST/I (GC)
Asam Lemak tidak jenuh			
Asam Oleat (C18-1)	%	4,78	MU/INST/I (GC)
Asam Linoleat (C18-2)	%	1,01	MU/INST/I (GC)
Asam Linolenat (C18-3)	%	0,03	MU/INST/I (GC)

Cemaran logam			
Timbal (Pb)	mg/kg	< 0,034	MU/MO/IO (AAS)
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,007	MU/MO/IO (AAS)
Timah (Sn)	mg/kg	< 0,8	SNI 01-2896-1998, butir 5
Merkuri (Hg)	mg/kg	< 0,005	MU/MO/12 (AAS)
Arsen (As)	mg/kg	< 0,013	MU/MO/13 (AAS)

*Diuji pada Laboratorium Terakreditasi KAN di Balai Besar Industri Agro-Bogor



(a)



(b)

Gambar 4. Lituna, keumamah tumis siap saji dalam kaleng yang telah dikomersialkan: (a) Desain label awal, dan (b) Desain label baru dengan warna yang lebih cerah dan terdapat logo halal nasional (BPJPH)

IV. KESIMPULAN

Tim peneliti telah berhasil melakukan hilirisasi hasil riset berupa penerapan teknologi pengalengan pada masakan keumamah tumis menjadi produk komersial dengan merk Lituna. Lituna diproduksi oleh badan usaha dengan skala UMKM dan telah memiliki izin edar yang legal dan lengkap dengan sertifikat halal nasional. Kualitas produk harus terus dijaga dan dipertahankan. Inovasi harus terus dilakukan agar produk ini dapat bertahan di pasaran. Pemasaran yang baik dan modern baik secara online dan offline harus terus ditingkatkan. Diharapkan produk ini akan terus tumbuh dan menjadi produk yang lebih dikenal oleh masyarakat dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar SH, Hasan H, Rohaya S. 2020. *Proses pembuatan ikan kayu (keumamah) tumis siap saji dalam kemasan botol dan kaleng* (Dirjen Kekayaan Intelektual, Kemenkumham Republik Indonesia, Patent No. P00202006345)
- Anwar SH, Hifdha RW, Hasan H, Rohaya S, Martunis. (2020). Optimizing the sterilization process of canned yellowfin tuna through time and temperature combination. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 425: 012031.

- Anwar SH, Hifdha RW, Rohaya S, Hasan H. 2021. Kualitas Tuna Kaleng dari Perairan Aceh yang Disterilisasi dengan Pressure Canner. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 16(1): 73-82.
- Anwar SH, Poena AARM, Muzaifa M, Hasan H. 2020. Canning of Traditional Acehnese Food Made by Dried Little Tuna (*Euthynnus affinis*) Using Two Sterilization Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845:012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012023>
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2013. SNI-2712-2013-Ikan dalam Kemasan Kaleng Hasil Sterilisasi
- Brennan JG. 2011. Food processing handbook, 2nd ed. ed. Wiley-VCH, Weinheim.
- Hasan H, Anwar SH, Rohaya S, Martunis. 2018. Thermal penetration study for the purpose of formulating sterilization procedures of yellowfin tuna canning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 207: 012052.
- Nurhikmat A, Kurniadi M, Susanto A. 2009. Penentuan Fo Ikan Tuna Kaleng Ukuran 301 X 407 Dalam Berbagai Bumbu Tradisional, *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia* (pp. 594-602).

TEKNOLOGI PENGERING TEROWONGAN *HOHENHEIM* ACEH UNTUK BERBAGAI PRODUK HASIL PERTANIAN

Rita Khathir*, Khairul Syahmega

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: rkhatir@usk.ac.id

RINGKASAN

Teknologi pengeringan berbagai produk hasil pertanian dan pangan olahan perlu ditingkatkan untuk memenuhi standar kualitas dan kehalalan. Pengembangan teknologi pengering terowongan *Hohenheim* Aceh telah kami rancang dengan tujuan untuk menyelesaikan masalah rendahnya kualitas produk kering dan tidak adanya jaminan kehalalan produk. Upaya pertama dilakukan dengan desain ulang alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh merujuk kepada desain alat pengering terowongan *Hohenheim* di Jerman. Berbagai pengembangan telah dilakukan meliputi perubahan bahan konstruksi, sistem *knock-down*, penggunaan kipas *outlet*, pengecilan ukuran solar kolektor, pengembangan kendali *Proportional Integral Derivative* (PID), dan pengembangan solar kolektor paralel. Berbagai bahan yang telah kami uji meliputi *pliek-u*, kerupuk tiram, kopi, cabai merah, cabai rawit, jahe gajah, jahe merah, dan coklat. Alat ini dapat digunakan untuk pengeringan berbagai produk dengan ketebalan lapisan pengeringan di bawah 5cm.

I. PENDAHULUAN

Pengeringan adalah upaya pengawetan pangan tertua di dunia yang diaplikasikan dengan cara menjemur bahan di bawah sinar matahari secara langsung (*open-sundrying system*). Namun demikian cara pengeringan seperti ini mempunyai banyak kelemahan seperti membutuhkan waktu yang lama, membutuhkan banyak tenaga kerja, sangat tergantung kepada cuaca, dan tidak melindungi bahan yang sedang dikeringkan dari berbagai kontaminasi seperti debu dan kotoran. Pada akhirnya metode ini berkontribusi dalam menghasilkan produk kering dengan kualitas yang rendah.

Tidak hanya rendah di segi kualitas, lebih jauh metode pengeringan ini juga tidak dapat menjamin kehalalan produk. Sertifikasi halal hanya dapat diberikan kepada produk yang dikeringkan minimal pada ketinggian 1m di atas tanah (Khathir et al., 2023c). Salah satu kriteria halal dilihat dari segi fasilitas yang digunakan dalam proses pengolahan (Jumiono and Rahmawati, 2020). Oleh karena itu fasilitas pengeringan bahan pangan perlu ditingkatkan dari metode konvensional ke metode teknologi pengeringan tertentu yang sesuai dengan produk yang akan dikeringkan yang dapat menjamin kehalalan produk.

Sejak tahun 2015, kami sudah mengembangkan teknologi pengering terowongan *Hohenheim* Aceh berbasis energi matahari untuk produk yang dikeringkan secara lapisan tipis dengan ketebalan di bawah 5cm. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan alternatif metode pengeringan yang lebih baik sehingga menghasilkan produk yang halal sekaligus berkualitas bagi masyarakat.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

Alat pengering terowongan energi matahari (*solar tunnel dryer*) adalah alat pengering yang berbentuk terowongan dengan sumber energi pengeringan berasal dari matahari. Sebagian terowongan merupakan solar kolektor dan sebagian yang lain merupakan ruang pengering (*drying chamber*). Bentuk umum pengering terowongan adalah memanjang dengan lebar 1-2 meter.

Mekanisme pengumpulan panas pada alat ini ada 2 macam yaitu melalui solar kolektor dan efek rumah kaca. Solar kolektor adalah bagian yang terdiri dari komponen *absorber*, penutup transparan, insulator, ruang kosong, dan inlet. *Absorber* adalah permukaan berwarna hitam yang berfungsi untuk menyerap maksimal radiasi matahari. Permukaan transparan berfungsi untuk menjebak radiasi matahari di dalam solar kolektor. Insulator berfungsi untuk mencegah kehilangan panas dalam sistem kolektor. Ruang kosong berfungsi sebagai tempat mengalirkan media pengering dalam hal ini menggunakan udara. Inlet merupakan pintu masuknya udara dingin ke dalam sistem solar kolektor.

Teknologi ini tergolong murah sehingga berpotensi diadaptasikan ke masyarakat kita yang umumnya merupakan Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). Alat ini pertama dikembangkan di Universitas Hohenheim, Stuttgart, Jerman (Green and Schwarz, 2001). Komponen utama alat ini adalah ruang pengering, solar kolektor, penutup transparan, inlet yang dilengkapi kipas, *outlet*, dan insulasi panas. Kebutuhan energi listrik untuk menggerakkan kipas diperoleh dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya dari sebuah solar panel.

Alat ini telah dikembangkan di berbagai negara misalnya untuk pengeringan *Andrographis paniculata* (Srisittipokakun et al., 2012), pengeringan tomat dengan pengembangan pengering terowongan 2 tingkat (Dufera et al., 2021), dan pengeringan cabai dengan model pengering terowongan 2 tahap (Getahun et al., 2021).

III. HASIL /TEMUAN

3.1. Pengeringan *Pliek-u*

Pliek-u adalah produk warisan budaya Aceh yang patut dilestarikan. Produksi *pliek-u* semakin langka di Aceh dan kualitas *pliek-u* yang dihasilkan bervariasi antar produsen (Khathir et al., 2023b). Metode pengolahannya sangat panjang dan rumit, dengan salah satu tahapan pentingnya adalah proses pengeringan. Hasil survei menunjukkan bahwa proses pengolahan *pliek-u* terutama tahapan pengeringan perlu ditingkatkan untuk menjamin kualitas dan kehalalan produk (Khathir and Erika, 2013).

Pengeringan *pliek-u* telah diuji dengan alat yang dikembangkan pada tahun 2015 (Khathir et al., 2015). Alat pengering didesain ulang dengan panjang 6m dan lebar 2m, di mana solar kolektor area sebesar 50% (Gambar 1). Beberapa perubahan yang dilakukan adalah penggunaan rangka besi *hollow* dengan sistem bongkar pasang (*knock-down*), dan pemindahan lokasi kipas inlet dari bawah ke bagian samping alat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu

pengeringan rata-rata di dalam alat pengering ($55\pm 9^{\circ}\text{C}$) lebih tinggi dari suhu pengeringan rata-rata di luar alat pengering ($35\pm 1^{\circ}\text{C}$). Sedangkan nilai kelembaban relatif (RH) dalam ruang pengering ($39\pm 13\%$) lebih rendah dari RH di lingkungan ($62\pm 4\%$). Dengan demikian sistem pengeringan berjalan dengan baik dan dapat mengeringkan *pliek-u* selama 1-2 hari.



Gambar 1. Pengeringan *pliek-u* dengan pengering terowongan *Hohenheim Aceh* dimensi panjang 6m dan lebar 2m (Khathir et al., 2015).

Pada tahun 2022 kembali diuji pengeringan *pliek-u* dengan alat yang telah dimodifikasi ukurannya menjadi panjang 3m dan lebar 1m. Penutup transparan pada alat ini digunakan bahan *polycarbonate sheet* 0,5mm. Sebagai tambahan pada bagian *outlet* dilengkapi dengan kipas, dan kipas ini dikontrol dengan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) pada suhu 55°C (Khathir et al., 2022a). Perancangan kendali PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* dapat menstabilkan suhu pengeringan sesuai *setting point* antara $50-60^{\circ}\text{C}$ (Melinda et al., 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengeringan *pliek-u* berlangsung selama 2 hari secara *intermitten* dengan total waktu 12 jam. Suhu yang diperoleh lebih tinggi antara $5-8^{\circ}\text{C}$ daripada suhu lingkungan. Kadar air *pliek-u* yang dicapai di bawah 14%, dan *pliek-u* yang dikeringkan dengan alat disukai oleh panelis pada taraf yang sama dengan *pliek-u* yang dijemur secara konvensional (*open-sundrying method*) (Hikmah et al., 2022).

3.2. Pengeringan Kerupuk Tiram

Pengeringan kerupuk tiram telah dilakukan dengan alat pengering terowongan *Hohenheim Aceh* ukuran panjang 2m dan lebar 1m (Gambar 2). Alat ini dibuat dengan ukuran lebih kecil dengan tambahan penutup

polycarbonate sheet dan kipas *outlet*. Suhu pengeringan rata-rata yang dicapai adalah 39,7-40,9°C. Pengeringan kerupuk tiram ketebalan lapisan 2mm membutuhkan waktu 10 jam, sedangkan pada ketebalan lapisan 4 dan 6mm membutuhkan waktu 12 jam. Kadar air akhir kerupuk tiram yang diperoleh adalah 6,5-10,08% (Khathir et al., 2020b).



Gambar 2. Pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dimensi panjang 2m dan lebar 1m % (Khathir et al., 2020b)

3.3. Pengeringan Cabai

Pengeringan cabai merah diuji dengan alat pengering ukuran panjang 6m dan lebar 2m (Gambar 3). Hasil menunjukkan bahwa suhu pengeringan berada antara 42-62°C dan RH berkisar antara 26-78%. Perlakuan pra-pengeringan yang diberikan berupa perendaman dalam larutan *Natrium metabisulfite* dengan konsentrasi 0,2% mempercepat proses pengeringan dan menghasilkan warna cabai yang lebih merah. Proses pengeringan berlangsung selama 2 hari *intermitten* dengan durasi 10 jam (Ridwan et al., 2017).



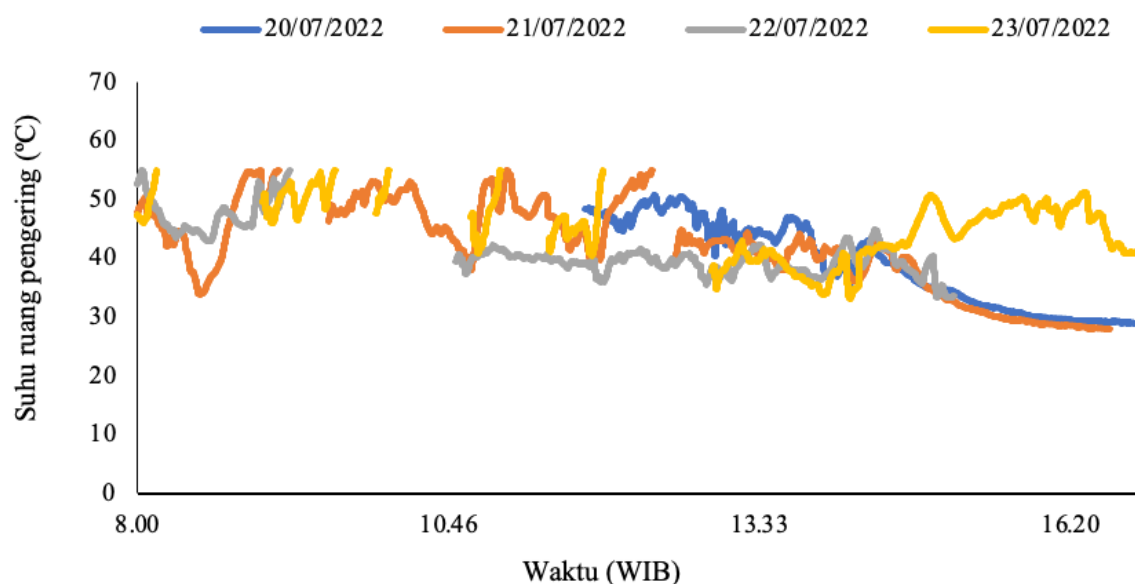
Gambar 3. Pengerian cabai dengan pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dimensi panjang 6m dan lebar 2m (Ridwan et al., 2017)



Gambar 4. Alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh panjang 3m dan lebar 1m (Sumber: Dokumen pribadi)

Pengerian cabai rawit hijau juga telah dilakukan dengan alat pengering berdimensi panjang 3m dan lebar 1m (Gambar 4). Perlakuan pra-pengerian yang diberikan adalah tanpa blansir, blansir rebus, dan blansir uap. Proses pengeringan berlangsung selama 4 hari dengan suhu ruang pengering berfluktuasi sesuai ketersediaan iradiasi matahari (Gambar 5). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan sebelum pengeringan dengan *blansir* uap meningkatkan laju pengeringan sehingga meningkatkan efisiensi proses pengeringan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa rendemen cabai rawit hijau kering sebesar 16% dengan kadar air akhir di bawah 14%. Namun vitamin C cabai hijau kering yang diberi perlakuan pra pengeringan blansir uap lebih rendah sebesar 5,27mg/100g. Penyimpangan warna cabai kering dari cabai segar juga diperoleh paling rendah (ΔE sebesar 26,88). Penggunaan kendali PID mencegah terjadinya suhu pengeringan di atas 60°C dan menciptakan sistem operasi kipas yang periodik sesuai kebutuhan (Khathir et al., 2022b).



Gambar 5. Suhu pengeringan dalam alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh (Khathir et al., 2022b)

Tabel 1. Kualitas cabai rawit hijau kering

Parameter	Non Blanching	Hot water blanching	Steam blanching
Rendemen (%)	17	15	16
Kadar air (%)	19,2	12,48	13,19
Vitamin C (mg/100g)	7,23	6,45	5,27
L	44,9	39,8	42,6
a	5,5	0,2	1,7
b	6,2	1,7	5,3
ΔE^*ab	27,49	28,83	26,88
Organoleptik Warna	3	3	3
Organoleptik Aroma	3	3	3
Organoleptik Tekstur	3	3	3

Keterangan: Komposisi warna cabai rawit segar L 44,3, a -11,5 dan b 27,43; Sumber: Khathir et al. (2022b)

3.4. Pengeringan Kopi

Pengeringan kopi gayo yang diolah secara semi basah diuji dengan alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh panjang 6m dan lebar 1m di Dataran Tinggi Gayo (Gambar 6). Desain ini menggunakan pendekatan peningkatan ruang pengering dengan menggunakan 30% area sebagai solar kolektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

suhu dalam alat pengering lebih tinggi sekitar 10-20°C dari suhu lingkungan. Proses pengeringan kopi labu sampai bisa digiling membutuhkan waktu 12 jam selama 2 hari, dilanjutkan dengan proses pengeringan kopi beras membutuhkan waktu 16 jam dengan kadar air kopi beras sebesar 9,31%. Total durasi pengeringan kopi adalah 4 hari atau 28 jam. Rendemen kopi beras berbasis kopi labu yang diperoleh adalah 35% (Hardi et al., 2019).



Gambar 6. Pengeringan kopi dengan pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dimensi panjang 6m dan lebar 1m (Hardi et al., 2019).

Pengeringan kopi gayo yang diolah secara natural menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung selama 10 hari. Suhu ruang pengering rata-rata adalah 35,6°C. Alat pengering dapat menaikkan suhu pengeringan sebesar 9,7°C dari suhu lingkungan di Dataran Tinggi Gayo. Desain alat pengering ini mempunyai 9 loyang pengering dengan distribusi suhu yang cukup seragam dapat dilihat pada Tabel 2, di mana suhu pengeringan tampak menurun dengan semakin jauhnya jarak loyang pengering dari solar kolektor (Khathir et al., 2024).

Namundemikian, tanpa penggunaan alat pengering, proses pengeringan kopi membutuhkan waktu selama 21 hari (Olmos et al., 2017). Bahkan menurut model yang diperoleh dari observasi, proses pengeringan kopi yang diolah secara natural di dataran tinggi Gayo dapat mencapai 40 hari (Khathir et al., 2024). Hal ini terkait dengan suhu rerata di dataran tinggi Gayo yang rendah. Dengan demikian, penggunaan alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dapat mempercepat proses pengeringan dari 40 hari menjadi 10 hari dalam hal pengeringan kopi di dataran tinggi Gayo.

Tabel 2. Statistik deskriptif suhu pengering terowongan *Hohenheim* Aceh pada 9 loyang

Posisi	Suhu rata-rata (°C)	Standar Deviasi (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Minimum (°C)
Loyang 1	37,8	2,9	42,1	33,7
Loyang 2	37,5	2,8	42,0	33,1
Loyang 3	37,1	2,6	41,1	32,9
Loyang 4	36,7	2,3	39,9	32,7
Loyang 5	36,4	2,4	40,3	32,7
Loyang 6	36,1	2,5	39,8	32,4
Loyang 7	36,0	2,4	39,4	32,3
Loyang 8	35,7	2,1	38,5	32,2
Loyang 9	35,1	2,0	38,1	31,9

Sumber: Khathir et al., 2024

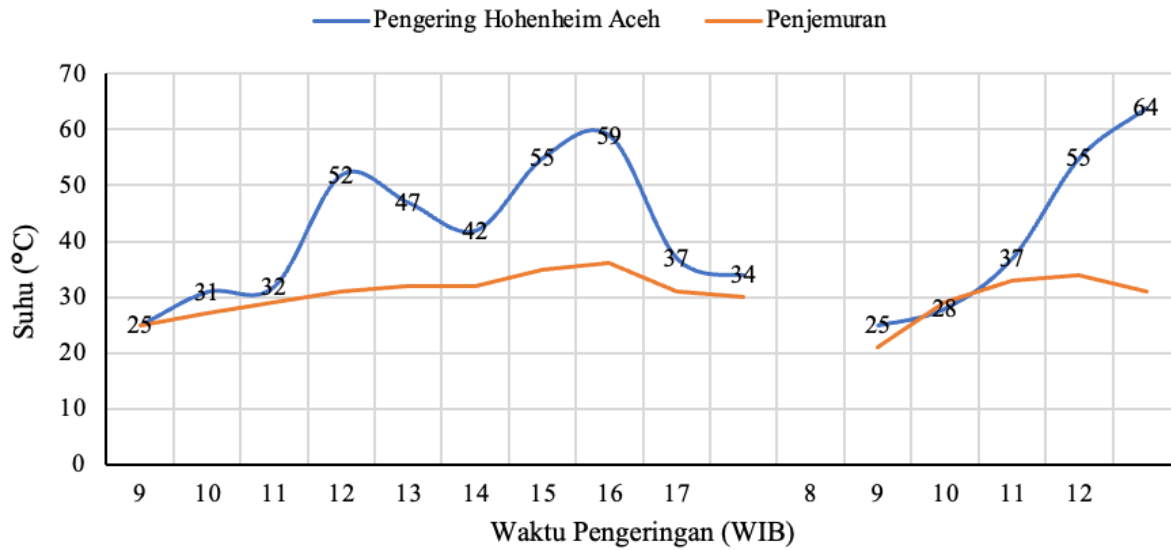
3.5. Pengeringan Jahe

Pengeringan jahe gajah juga telah diuji dengan alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh ukuran panjang 6m dan lebar 2m. Jahe gajah diberi perlakuan ketebalan irisan 3, 4 dan 5mm. Hasil penelitian diperoleh suhu rata-rata pengeringan adalah 49,5°C dengan durasi proses pengeringan selama 7 jam. Kadar air akhir jahe gajah yang diperoleh adalah 6,49-8,59%, kadar abu 10,22-11,20%, dan rendemen sebesar 18-19% (Khathir et al., 2020a).

Pengeringan jahe merah dilakukan dengan membandingkan 2 metode pengeringan yaitu metode penjemuran langsung di atas terpal hitam dan metode alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh. Kadar air jahe merah yang dikeringkan dengan alat adalah 19,84%, sedangkan kadar air jahe merah yang dikeringkan dengan metode penjemuran adalah 37,02%. Proses pengeringan dilakukan selama 7 jam dari pukul 09.00-16.00 WIB. Suhu rata-rata dalam ruang pengering adalah 40°C sedangkan suhu rata-rata di lingkungan adalah 30°C (Mentari et al., 2017).

3.6. Pengeringan Coklat

Pengeringan coklat juga telah diuji dengan alat pengering terowongan *Hohenheim* Aceh ukuran panjang 6m dan lebar 2m. Penelitian ini dilakukan dengan perbandingan 2 metode pengeringan yaitu metode penjemuran langsung dan metode alat pengering. Proses pengeringan berlangsung selama 2 hari dengan total waktu pengeringan 12 jam. Kadar air coklat yang diperoleh adalah 12,7%. Laju pengeringan coklat dengan alat pengering lebih cepat dua kali lipat dari laju pengeringan coklat dengan penjemuran matahari langsung (Khathir et al., 2023a). Sepanjang proses pengeringan, suhu alat pengering lebih tinggi dari suhu lingkungan atau suhu penjemuran matahari langsung (Gambar 7).



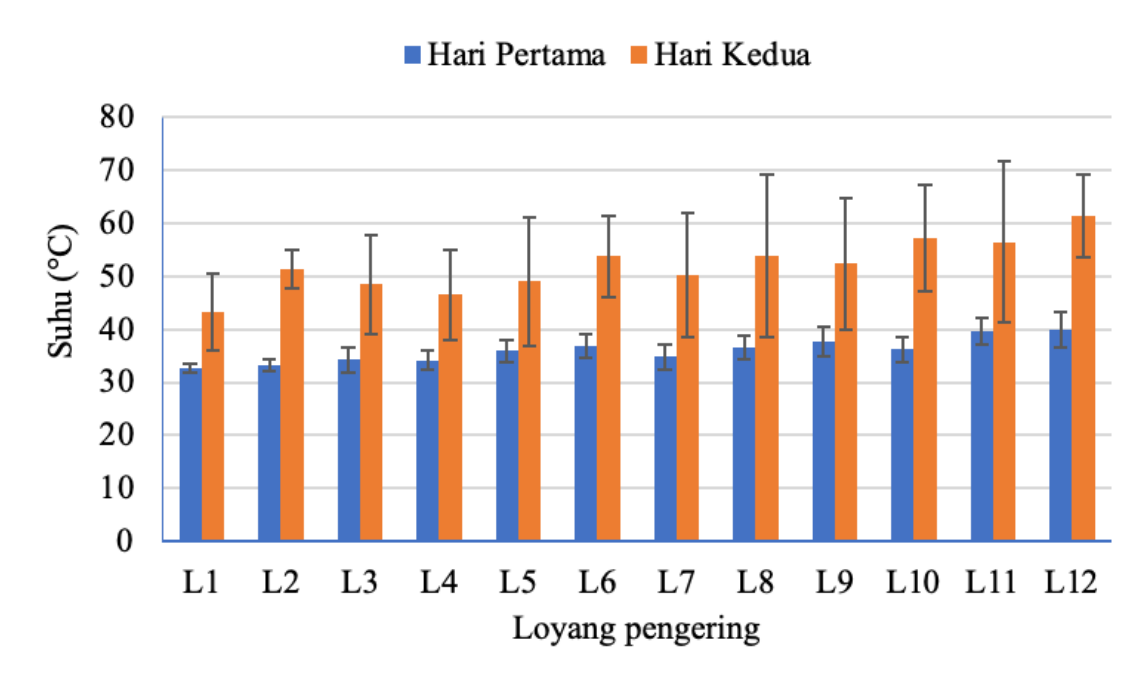
Gambar 7. Suhu pengeringan coklat selama 2 hari (Khathir et al., 2023a).

3.7. Pengembangan Solar Kolektor Paralel

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan gejala penurunan suhu pengeringan dengan semakin jauhnya ruang pengering dari solar kolektor. Sementara itu, masyarakat pengguna butuh peningkatan kapasitas pengeringan yang hanya dapat dilakukan dengan memperpanjang terowongan. Untuk mengatasi kendala ini, pengembangan alat pengering dengan desain solar kolektor paralel telah dilakukan. Sebuah pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dengan panjang 6m dan lebar 2m di mana solar kolektor dibuat sepanjang terowongan dengan ukuran 6x1 m² (Gambar 8). Alat ini mempunyai 12 loyang pengering terbuat dari aluminium dengan ukuran 85x50cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu loyang 1-7 berkisar 44,1-51,3°C, dan suhu loyang 8-12 berkisar 52,4-61,3°C (Gambar 9). Pengeringan *pliek-u* dari 200 butir kelapa dengan kapasitas 3,5kg kelapa per loyang menghasilkan *pliek-u* dengan kadar air di bawah 10% pada semua loyang (Nur et al., 2023). *Pliek-u* dengan kadar air di bawah 10% mempunyai umur simpan mencapai 2 tahun (Khathir et al., 2021).



Gambar 8. Pengering terowongan *Hohenheim* Aceh dengan solar kolektor paralel ukuran panjang 6m dan lebar 2m (Sumber: Dokumen pribadi)



Gambar 9. Suhu pengeringan pada 12 loyang selama 2 hari pengeringan (Khathir et al., 2021).

IV. KESIMPULAN

Teknologi pengeringan terowongan *Hohenheim* Aceh dapat diterapkan pada berbagai produk hasil pertanian dan pangan olahan yang dikeringkan dengan ketebalan di bawah 5cm. Proses pengeringan tergantung kepada cuaca setempat dan kadar air awal bahan. Bahan segar dengan kadar air di atas 70% membutuhkan waktu pengeringan antara 3-4 hari, sedangkan bahan dengan kadar air di bawah 55% membutuhkan waktu pengeringan antara 1-2 hari. Pengembangan telah banyak dilakukan meliputi modifikasi penggunaan bahan, desain sistem *knock-down*, posisikipas, pengecilan ukuran solar kolektor, desain kendali PID, dan desain solar kolektor paralel. Pengembangan terus berlanjut untuk meningkatkan performansi alat pengering. Salah satu proyek pengembangan yang sedang dilakukan adalah pengembangan tungku dengan sumber energi limbah biomassa.

DAFTAR PUSTAKA

- Dufera, L.T., Hofacker, W., Esper, A., Hensel, O., 2021. Experimental evaluation of drying kinetics of tomato (*Lycopersicum Esculentum* L.) slices in twin layer solar tunnel dryer. *Energy Sustain. Dev.* 61, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.03.003>
- Getahun, E., Gabbiye, N., Delele, M.A., Fanta, S.W., Vanierschot, M., 2021. Two-stage solar tunnel chili drying: Drying characteristics, performance, product quality, and carbon footprint analysis. *Sol. Energy* 230, 73–90. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.016>
- Green, M.G., Schwarz, D., 2001. Solar drying equipment - notes on three driers.
- Hardi, A., Ichwana, Khathir, R., 2019. Kajian pengering kopi gayo semi basah menggunakan alat pengering tipe *Hohenheim*. *J. Ilm. Mhs. Pertan.* 4, 353–361.
- Hikmah, N., Khathir, R., Putra, B.S., 2022. Uji performansi alat pengering tipe *Hohenheim* generasi ketiga untuk pengeringan pliek-u. *J. Ilm. Mhs. Pertan.* 7, 582–591.

- Jumiono, A., Rahmawati, S.I., 2020. Kriteria sertifikasi halal barang gunaan di indonesia. *Pangan Halal* 2, 10–16.
- Khathir, R., Agustina, R., Putra, B.S., Rahmadi, 2020a. The quality of elephant ginger dried by using modified Hohenheim dryer under tropical climate. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 494, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/494/1/012003>
- Khathir, R., Agustina, R., Ratna, 2015. Karakteristik alat pengering tipe Hohenheim pada pengeringan Pliek-U, in: *Seminar Nasional Hasil Riset Dan Standardisasi Industri V*. Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh, Banda Aceh, pp. 309–313.
- Khathir, R., Erika, C., 2013. Kajian terhadap metode pengolahan minyak kelapa di Aceh, in: *Seminar Nasional Hasil Riset Dan Standardisasi Industri III*. Balai Riset dan Standardisasi Industri Banda Aceh, Banda Aceh, pp. 22–27.
- Khathir, R., Hartuti, S., Hardiyanti, U., 2022a. Uji performansi alat pengering tipe terowongan Hohenheim Aceh dengan aplikasi proportional integral derivative controller untuk kipas outlet. *Rekayasa* 15, 308–315. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.15541>
- Khathir, R., Jannati, R., Agustina, R., 2021. Estimasi umur simpan pliek-u berdasarkan kadar air menggunakan model Arrhenius dan metode Q10. *Rona Tek. Pertan.* 14, 1–9. <https://doi.org/10.17969/rtp.v14i2.20518>
- Khathir, R., Kurniawan, E., Yunita, Syafriandi, 2023a. Drying characteristics of cacao beans using modified solar tunnel dryer type Hohenheim. *Aceh Int. J. Sci. Technol.* 12, 394–401. <https://doi.org/10.13170/aijst.12.3.30246>
- Khathir, R., Muzaifa, M., Yunita, D., Rahmawati, M., 2023b. Study on the physicochemical and sensory profile of pliek-u : A traditional dried fermented coconut endosperm from Aceh, Indonesia. *AIMS Agric. Food* 8, 534–549. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023028>
- Khathir, R., Rahmawati, M., Syah, H., Zahari, M.P., 2022b. Pengaruh metode blanching terhadap karakteristik pengeringan cabai rawit hijau menggunakan alat pengering terowongan Hohenheim Aceh. *J. Teknol. Pengolah. Pertan.* 4, 61–71.
- Khathir, R., Sari, E.P., Agustina, R., 2020b. Performansi alat pengering terowongan tenaga surya tipe Hohenheim untuk pengeringan kerupuk tiram. *agriTECH* 40, 263. <https://doi.org/10.22146/agritech.52889>
- Khathir, R., Yunita, Y., Agustina, R., Jayanti, D.S., Siagian, A., 2024. Drying gayo coffee under natural processing by using modified Hohenheim solar tunnel dryer in Gayo highland. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1297, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012018>
- Khathir, R., Yunita, Y., Rahmawati, M., 2023c. Edukasi manajemen teknologi produksi untuk menunjang kehalalan produk bagi usaha kecil menengah. *Bul. Pengabd.* 3, 20–27.
- Melinda, M., Rahmat, A., Ibina, P., Khathir, R., Mufti, A., Syahyadi, R., Hasanuddin, I., 2023. Implementation of PID controller on Hohenheim tinnel dryer using Ziegler-Nichols approach method. *J. Polimesin* 21, 101–107. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30811/jpl.v21i1.3472>
- Mentari, B., Nurba, D., Khathir, R., 2017. Karakteristik pengeringan jahe merah (*Zingiber officinale* Var *Rubrum* Rhizome) dengan metode penjemuran dan menggunakan alat pengering tipe Hohenheim. *J. Ilm. Mhs. Pertan.* 2, 439–448.
- Nur, A.T., Yusmanizar, Y., Khathir, R., 2023. Evaluasi Pengering Terowongan Hohenheim Aceh dengan Solar Kolektor Paralel untuk Pengeringan Pliek-u. *J. Ilm. Mhs. Pertan.* 8, 561–570.
- Olmos, L.C.V., Duque, E.A.G., Rodriguez, E., 2017. State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their global development. *J. Espac.* 38, 27–37.
- Ridwan, Munawar, A.A., Khathir, R., 2017. Peningkatan kualitas cabai merah kering dengan perlakuan blanching dalam natrium metabisulfit. *J. Ilm. Mhs. Pertan.* 2, 171–182.
- Srisittipokakun, N., Kirdsiri, K., Kaewkhao, J., 2012. Solar drying of *Andrographis paniculata* using a parabolicshaped solar tunnel dryer. *Procedia Eng.* 32, 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.021>

DETEKTOR SUARA *WHEEZING* UNTUK MENGETAHUI KELAINAN OBSTRUksi SALURAN NAPAS

¹Budi Yanti*, Khalilullah, Fawzi Linggo, Delia Putri Sanur, Adinda Zahra Ayufi Ramadhani,
Muhammad Yusuf Kardawi

¹Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Penulis Korepondensi: byantipulmonologist@usk.ac.id

RINGKASAN

Wheezing merupakan salah satu manifestasi obstruksi saluran napas yang paling sering ditemukan pada Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) dan Asma. Penggunaan stetoskop pada pemeriksaan *wheezing* memiliki beberapa kelemahan seperti hasil yang subjektif dan bergantung pada kepekaan pendengaran si pemeriksa. Sehingga diperlukan perangkat mudah yang membantu menentukan suara *wheezing* dengan tepat. Penelitian ini merakit satu alat tanpa kabel yang mampu mendeteksi suara *wheezing* dan terintegrasi dengan *gadget*. Alat ini dirancang dengan menggunakan *hardware microprocessor* dihubungkan dengan *electric stethoscope* dan disambungkan dengan strip sehingga dapat dilekatkan di dinding dada pasien. Pengumpulan data suara pernapasan dada yang diakses pada *kaggle.com*. Pembuatan algoritma dengan *Convolutional Neural Network* kemudian dirubah menjadi *Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)*. Model ini akan ditanamkan pada *microprocessor* dan menggunakan bahasa *python* untuk dapat melakukan perekaman suara getaran dinding dada. Suara yang direkam diubah menjadi MFCC agar memudahkan untuk melakukan pendeteksian suara *wheezing*. Hasil gambar MFCC dan hasil deteksi dikirimkan ke *database* yang menggunakan fitur *firebase database* yang menyimpan foto MFCC secara *real-time* saat dideteksi. Perancangan *software* aplikasi android menggunakan bahasa *dart (Flutter)* membangun komunikasi antara aplikasi android dengan *firebase database* yang memungkinkan aplikasi dapat mengambil hasil gambar MFCC sebagai hasil akhir. Perancangan ini menghasilkan suatu alat pendeteksi suara napas yang di tempelkan pada dinding dada dan dapat dipakai seperti jaket, alat akan merekam suara pada dinding dada dan kemudian di kirimkan ke aplikasi *Wheezing Sound for Asthma COPD Diagnose (ESCAPED)*. Hasil uji coba alat menunjukkan perangkat dengan kinerja yang baik pada deteksi *wheezing* sehingga membantu menentukan diagnosis kelainan obstruksi saluran napas dan diharapkan dapat membantu tenaga kesehatan dalam menegakkan diagnosis PPOK dan Asma lebih cepat, penanganan pasien menjadi lebih baik dan pada akhirnya dapat menurunkan angka morbiditas dan mortalitas PPOK dan Asma di Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Obstruksi jalan napas merupakan salah satu manifestasi penyakit sumbatan di saluran pernapasan yang menjadi kausa nomor satu kematian di dunia yang disebabkan karena polusi udara dan asap rokok. Penyakit ini umumnya dikenal dengan istilah Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) dan Di Indonesia angka kejadian penyakit ini cukup signifikan, pada tahun 2019 terdapat 65 juta orang menderita PPOK dan 3 juta orang meninggal karena PPOK setiap tahunnya. Karenanya PPOK menjadi penyebab kematian tertinggi ketiga di dunia. Selain itu, terdapat 334 juta orang menderita penyakit obstruksi jalan napas lainnya seperti asma yang menjadi penyakit saluran napas paling sering ditemukan pada 14% anak di seluruh dunia (*Forum of International Respiratory Societies*, 2017).

PPOK merupakan masalah kesehatan global dengan angka kejadian dan kematian yang tinggi. Pada tahun 2015, PPOK merupakan peringkat ke-empat morbiditas kronis dan kematian di Amerika Serikat (Huriah dan Wulandari, 2017). Di Indonesia, angka kejadian PPOK pada tahun 2018 mencapai 3,7% dan sering terjadi pada laki-laki dibandingkan perempuan (Riskesdas, 2018). Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) adalah salah satu penyakit saluran pernapasan yang ditandai dengan adanya obstruksi jalan napas berat yang menyebabkan penyempitan saluran pernapasan sehingga akan menimbulkan rasa sesak napas (Suhandi et al., 2020). Obstruksi jalan napas yang terjadi pada PPOK diawali dengan terbatasnya aliran udara yang masuk dan respon inflamasi kronis karena partikel asing di saluran pernapasan (Suryadinata, 2018). Asma juga merupakan penyakit obstruksi saluran pernapasan yang sering ditemukan akibat adanya inflamasi saluran pernapasan dan dapat dipicu oleh alergen, virus dan aktifitas fisik dan menyebabkan terjadinya sesak napas, batuk, kesulitan bernapas dan episode *wheezing*. Asma biasanya terjadi pada usia muda dan memiliki riwayat keluarga atopi yang dapat dilihat dengan peningkatan Imunoglobulin E (IgE) (Permatasari dan Yanti, 2020). Menurut Riskesdas (2018), angka kejadian asma sebesar 2,4% dengan proporsi kekambuhan mencapai 57,5%.

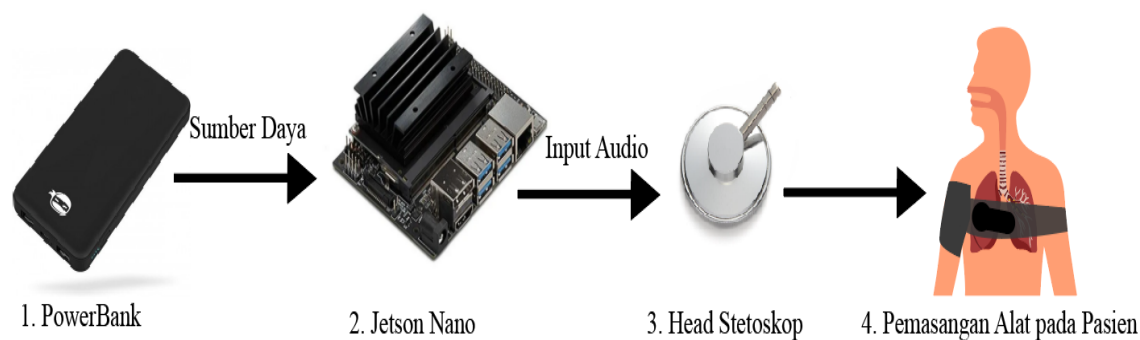
Gejala klinis utama yang paling sering ditemukan pada sumbatan saluran pernapasan yang menyebabkan saluran pernapasan menjadi lebih sempit adalah dengan munculnya suara napas tambahan yaitu *Wheezing* dengan karakteristik nada dan frekuensi yang lebih tinggi dari suara napas normal. *Wheezing* ini dapat didengar melalui stetoskop mulai dari laring hingga saluran napas distal yaitu bronkiolus pada saat inspirasi atau ekspirasi. Dalam menentukan suara *wheezing* pada pasien PPOK/Asma, perlu dilakukan deteksi awal mendengarkan bunyi suara napas dengan teknik auskultasi menggunakan stetoskop. Penggunaan stetoskop dalam membantu penegakan diagnosis memiliki beberapa kelemahan seperti suara napas yang didengar cenderung bersifat subjektif, sementara diagnosis obstruksi saluran napas pada pasien PPOK/Asma juga bergantung dari kepekaan pendengaran dokter dan pengalaman dokter itu sendiri. Selain itu juga hasil suara yang didapatkan tidak dapat disimpan dan didengarkan bersama dengan tenaga kesehatan lainnya untuk menjadi bahan pertimbangan penegakan diagnosis yang sebenarnya (Kurniawan, 2017). Saat ini, *wheezing* dapat dideteksi dalam bentuk gelombang terkomputerisasi antara frekuensi 100-5000Hz dan paling sering terdengar pada frekuensi 400Hz dengan durasi 80s (Pujan et al., 2021). Sehingga perlu diciptakan suatu alat bantu untuk menentukan suara *wheezing* melalui getaran suara dari dinding dada pada pasien yang mengalami sumbatan saluran napas seperti pasien PPOK dan Asma.

Wheezing Sound for Asthma COPD Diagnose (ESCAPED) adalah alat detektor suara *wheezing* melalui getaran suara dinding dada pada pasien dengan kelainan obstruksi saluran napas seperti penyakit PPOK atau asma. Detektor ini dirakit dengan perangkat yang ramah lingkungan dan terintergrasi dengan *gadget* secara *real-time*. Dengan menggunakan detektor ESCAPED diharapkan dapat mendeteksi suara *wheezing* pada pasien PPOK/Asma sehingga dapat membantu tenaga kesehatan dalam menegakkan diagnosis PPOK/Asma lebih cepat dan pasien mendapatkan penanganan sesak napas secara tepat. Tentu saja hal ini dapat memperbaiki prognosis pasien PPOK/Asma, dan diharapkan dapat menurunkan morbiditas dan mortalitas kejadian PPOK/Asma di Indonesia.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Perancangan *hardware*

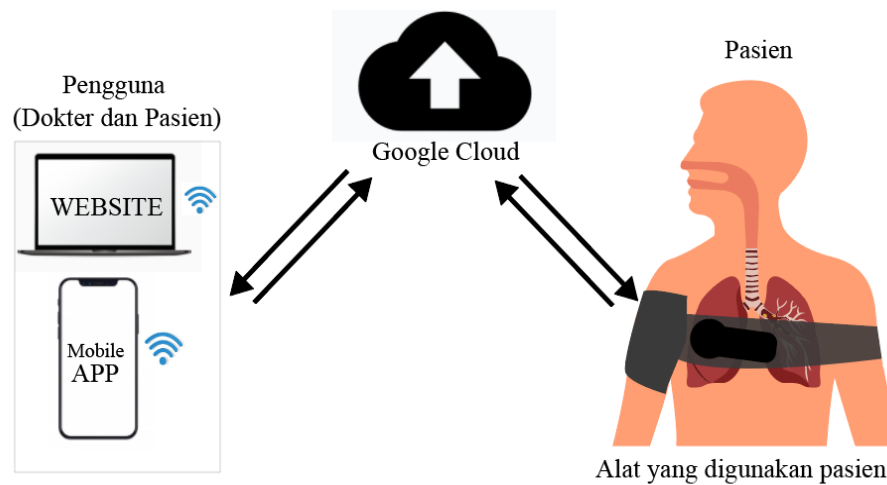
Hardware yang akan dirancang terdiri dari *powerbank*, *Jetson Nano*, *head stethoscope* dan *microprosesor*. Pada Gambar 1, rancangan komponen *hardware* dimana *powerbank* digunakan sebagai sumber daya pada *Jetson Nano*, disambungkan dengan *head stethoscope* sebagai penginputan getaran suara dinding dada kemudian akan diproses ke dalam *microprocessor*. Tampilan pemasangan alat pada pasien menggunakan sabuk dada yang bersifat lentur dan mudah digunakan pasien sehingga tidak sesak saat digunakan.



onen *hardware* (Sumber: Dokumen Pribadi)

2.2 Perancangan *Software*

Pada bagian perancangan *software* menggunakan metode *User Centered Design*. Dilakukan perancangan *software* aplikasi *android* dan *website* yang akan digunakan pengguna sehingga dapat melihat secara langsung suara *wheezing* dari tampilan *web* dan *android*. Pada pembuatan *website* diawali dengan membuat *database* yang dapat menyimpan data suara *wheezing* berdasarkan frekuensi tertentu. Selanjutnya memprogram *landing page* untuk menampilkan data dari *database*. Pembuatan aplikasi *android* menggunakan *link web* sehingga menampilkan hasil yang sama dengan *website* namun dalam tampilan aplikasi *android*. Gambar 2 menunjukkan perancangan keseluruhan meliputi penggabungan hasil dari tahap perancangan *hardware*, dan perancangan *software* yang akan dihubungkan oleh *Google Cloud*.



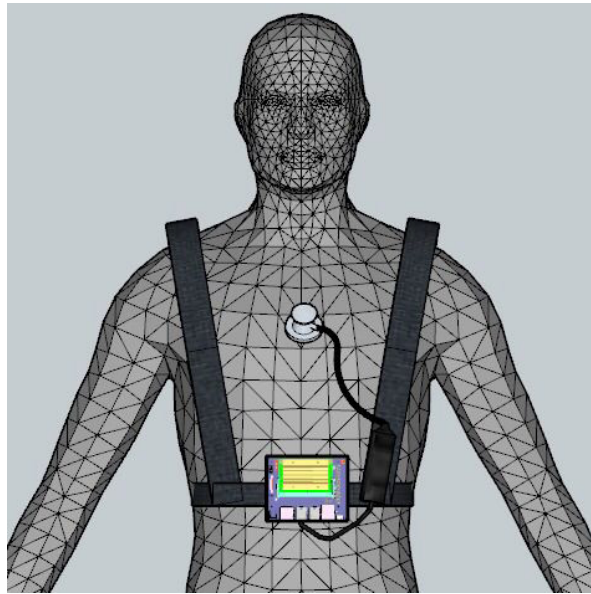
Gambar 2. Skema perancangan alat secara keseluruhan (Sumber: Dokumen Pribadi)

Aplikasi android yang diciptakan diberi nama dengan ESCAPED, aplikasi ini terdiri dari beberapa komponen *widget* seperti *AppBar*, *Column*, *Text*, *Raised Button*, *Safe Area*, *Icon Button*, *Single Child Scroll View*, *Elevated Button*, *Container* dan lain-lain. Aplikasi ini dikembangkan dengan menggunakan *framework Flutter* yang tersusun dari sekumpulan *widget-widget* sehingga membentuk sebuah sistem yang bisa merekam, membaca dan menampilkan hasil deteksi suara napas kepada pengguna aplikasi.

2.3 Perancangan Alat Secara Keseluruhan

Alat ini dirancang dengan menggunakan *hardware microprocessor* dihubungkan dengan *electric stethoscope* dan disambungkan dengan strip sehingga dapat dilekatkan di dinding dada pasien (Gambar 3). Setelah data suara pernapasan dada *wheezing* yang diakses pada *kaggle.com* telah dikumpulkan, maka dilanjutkan dengan membuat algoritma suara napas *wheezing* dengan *Convolutional Neural Network* kemudian dirubah menjadi *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC). Model ini kemudian ditanamkan pada *microprocessor* dengan menggunakan bahasa *python* untuk dapat melakukan perekaman suara getaran dinding dada. Suara yang berhasil direkam kemudian diubah menjadi MFCC agar memudahkan alat untuk melakukan pendeteksian suara *wheezing*. Hasil gambar MFCC dan hasil deteksi dikirimkan ke *database* yang menggunakan fitur *firebase database* yang menyimpan foto MFCC secara *real-time* saat dideteksi.

Perangkat *hardware* yang telah dirancang pada tahap sebelumnya akan mengidentifikasi dan mengklasifikasi suara, lalu mengirimkan hasil deteksi ke *Google Cloud* yang memungkinkan terjadinya interaksi secara *real-time* dengan pengguna melalui tampilan *website* dan aplikasi *android* yang telah dirancang. Tahap ini akan menghasilkan sebuah alat yang siap diuji coba.



Gambar 3. Ilustrasi alat detektor yang akan dirancang (Sumber: Dokumen Pribadi)

III. HASIL /TEMUAN

Inovasi ini menghasilkan suatu alat pendeteksi suara napas yang di tempelkan pada dinding dada dan dapat dipakai seperti jaket, alat akan merekam suara pada dinding dada dan kemudian di kirimkan ke aplikasi dengan nama *Wheezing Sound for Asthma COPD Diagnose* (ESCAPED), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Detektor suara *Wheezing* untuk obstruksi saluran napas (Sumber: Dokumen Pribadi)

Aplikasi akan mengidentifikasi suara yang terekam dan akan menunjukkan hasil suara *wheezing* atau tidak *wheezing* (Gambar 5).

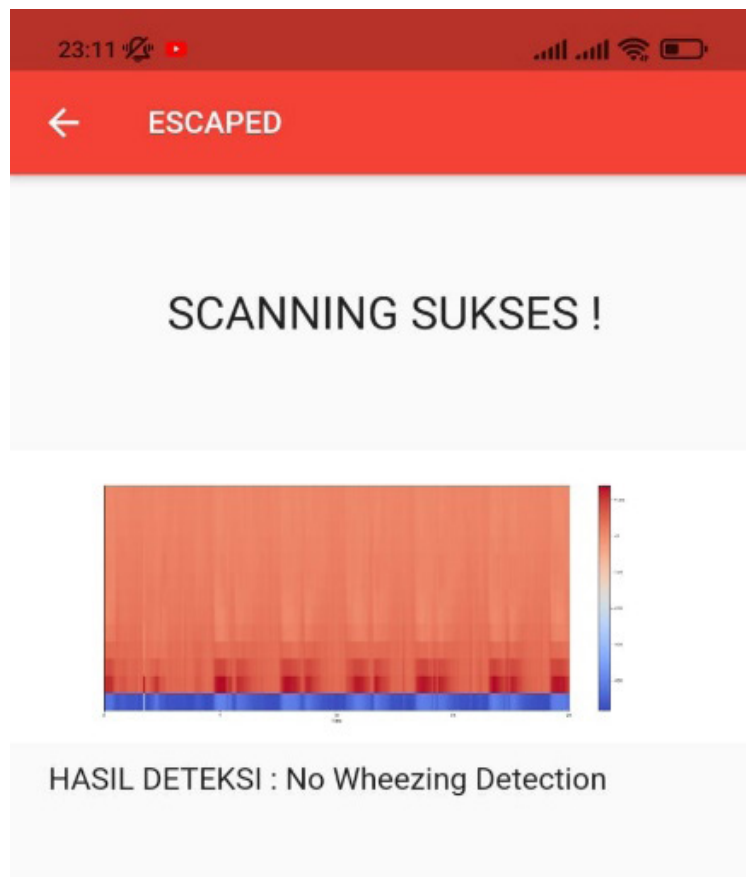


ESCAPED

Wheezing Sound for Asthma COPD Diagnosis

Gambar 5. Halaman depan tampilan Aplikasi ESCAPED di gadget (Sumber: Dokumen Pribadi)

Kinerja alat baik dengan mendeteksi adanya *wheezing* pada frekuensi 400Hz. Aplikasi akan menampilkan gambar plot *Mel Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) yang dibuat untuk menganalisis suara napas sehingga dapat membantu menentukan diagnosis. Hasil yang ditampilkan pada aplikasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Spektrum suara *wheezing* yang dapat terlihat pada aplikasi ESCAPED bila terdeteksi obstruksi saluran napas (Sumber: Dokumen Pribadi).

IV. KESIMPULAN

Wheezing Sound for Asthma COPD Diagnose (ESCAPED) merupakan sebuah alat detektor *wheezing* yang terintegrasi dengan *gadget*, berbasis *Internet of Things (IoT)* dan dapat langsung menunjukkan hasil *wheezing* terdeteksi atau tidak terdeteksi pada layar aplikasi. ESCAPED dapat membantu tenaga kesehatan untuk menentukan suara *wheezing* dengan akurat, menemukan penyakit PPOK dan Asma lebih cepat, penanganan pasien menjadi lebih baik, dan diharapkan menurunkan angka morbiditas dan mortalitas PPOK dan Asma di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Forum of International Respiratory Societies. 2017. *The Global Impact of Respiratory Disease – Second Edition*. European Respiratory Society. Sheffield
- Huriah T, Wulandari Ningtias D. 2017. Pengaruh active cycle of breathing technique terhadap peningkatan nilai VEP1, jumlah sputum dan mobilisasi sangkar toraks pasien PPOK. *Indones J Nurs Pract*. 1(2):44–54.
- Kemenkes RI. 2018. *Hasil utama RISKESDAS 2018*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan RI. Jakarta.
- Kurniawan D. 2017. Rancang bangun alat deteksi suara paru untuk menganalisa kelainan paru berbasis android. *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat Educ)*. 2(2):156–68.
- Permatasari D, Yanti B. 2020. Perbedaan diagnosis asma, penyakit paru obstruktif kronik dan asthma-COPD overlap syndrome. *J Kedokt Syiah Kuala*. 20(3):178–83.
- Pujan HP, Vincent SM, Sandeep S. 2021. *Wheezing*. StatPearls Publishing LLC.
- Suhandi C, Willy E, Fadhilah NA, Salsabila N, G. AK, Ambarwati AT, et al. 2020. Review artikel: penyakit paru obstruktif kronik (PPOK). *Farmaka*. 18(1):1–15.
- Suryadinata RV. 2018. Pengaruh radikal bebas terhadap proses inflamasi pada Penyakit Paru Obstruksi Kronik (PPOK). *Amerta Nutr*. 2(4):317-324.

ANALISIS DAYA SAING IKAN TUNA INDONESIA DI PASAR ASEAN: PENDEKATAN *REVEALED COMPARATIVE ADVNATAGE*

Rita Meutia*, Apridar

¹Fakultas Ekonomi, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: rita.mutia@usk.ac.id

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan adalah memprediksi daya saing ekspor ikan tuna Indonesia di pasar *Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN) dan menganalisis daya saing ekspor ikan tuna Indonesia. Metode analisa data yang digunakan untuk mengukur komoditas ikan tuna Indonesia memiliki daya saing ke pasar ASEAN adalah *Revealed Comparative Advantage* (RCA) dengan menggunakan panel data. Hasil penelitian diperoleh bahwa Indonesia memiliki nilai RCA lebih besar daripada satu. Hal ini menunjukkan bahwa daya saing ikan tuna Indonesia relatif masih tinggi jika dibandingkan dengan negara ASEAN lainnya kecuali Filipina dan Vietnam.

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia memiliki potensi sumber daya kelautan dan perikanan yang besar. Dengan luas laut sebesar 5,8 juta km² (Kementerian Kelautan dan Perikanan 2010), pengembangan sumber daya kelautan dan perikanan dapat diharapkan menjadi salah satu tumpuan pengembangan kegiatan perekonomian nasional di masa yang akan datang. *Food and Agriculture Organization* pada tahun 2000 menyatakan bahwa saat ini ikan menyumbang sekitar 13,8 – 16,5% terhadap asupan protein hewani manusia. Sementara itu, pertumbuhan suplai ikan dunia untuk konsumsi pangan sebesar 3,6% per tahun selama periode tahun 1961-1998 dirasakan masih sangat kurang. Walaupun ikan dunia yang dipasarkan sebesar 79,60% untuk konsumsi pangan (*food*) dan sisanya (20,40%) untuk konsumsi selain pangan, tetapi kecenderungan kebutuhan ikan untuk konsumsi pangan semakin meningkat (FAO, 2000).

Tingginya permintaan akan kebutuhan pangan dunia, termasuk komoditas perikanan, secara tidak langsung akan mempengaruhi terjadinya peningkatan transaksi perdagangan perikanan Indonesia di pasar internasional. Data Statistik Kelautan dan Perikanan 2010 menunjukkan bahwa komoditas utama ekspor Indonesia dalam periode 2005-2010 adalah udang dan tuna. Indonesia juga merencanakan akan mengimplementasikan kesepakatan Masyarakat Ekonomi *Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN) tahun 2015 dan hal ini juga menjadi tantangan tersendiri bagi sektor perikanan khususnya perdagangan produk ikan tuna. Berdasarkan data FAO (2011a) negara-negara ASEAN yang memiliki potensi perikanan tuna adalah Indonesia, Malaysia, Filipina dan Thailand. Dari keempat

negara tersebut, Indonesia merupakan negara penghasil produk ikan tuna terbesar yang ada di ASEAN. Ekspor tuna Indonesia terus mengalami peningkatan sejak 2009. Jika pada 2009 nilai ekspor tuna adalah sebesar 352 juta dolar AS dan meningkat menjadi 383 juta dolar AS pada 2010, pada 2011 ekspor tuna mencapai 499 juta dolar AS. Di sisi lain, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) terus berupaya memperluas pangsa pasar ekspor untuk dapat menggenjot devisa dari sektor perikanan. Ikan tuna merupakan salah satu komoditas perikanan utama Indonesia yang memiliki wilayah laut terluas di ASEAN. Indonesia diperhitungkan sebagai produsen utama tuna dunia. Berdasarkan data Organisasi Pangan Dunia (FAO), produksi tuna ASEAN di dunia mencapai 26,2 persen atau sebesar 1,7 juta ton. Produksi ikan tuna, cakalang, dan tongkol nasional pada 2011 sebesar 955.520 ton dengan tuna sendiri sebesar 230.580 ton (Kementerian dan Perikanan Kelautan Indonesia, 2024).

Berdasarkan hal tersebut diatas menjadi penting untuk dilakukan guna mengkaji secara mendetail kesiapan sektor perikanan Indonesia, khususnya dalam mempersiapkan komoditas ikan tuna menghadapi pasar tunggal ASEAN tahun 2015. Oleh sebab itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang bermanfaat bagi keberlangsungan ekonomi perikanan Indonesia, terutama dalam meningkatkan kesejahteraan nelayan, budi daya ikan dan pengolahan ikan, serta kelestarian sumber daya ikan.

Keunggulan komparatif dan keunggulan kompetitif merupakan sumber keunggulan bagi suatu negara untuk melakukan spesialisasi suatu produk dalam pola perdagangan apakah sebagai pengekspor ataupun sebagai pengimpor suatu produk. Melalui strategi baik keunggulan komparatif maupun keunggulan kompetitif, masing-masing negara yang melakukan perdagangan diharapkan memperoleh *gain of trade* (manfaat perdagangan internasional) karena adanya perbedaan faktor produksi maupun karena faktor efisiensi tenaga kerja atau *cost comparative advantage*.

Daya saing memiliki terkaitan keunggulan komparatif dan keunggulan kompetitif. Upaya peningkatan daya saing harus lebih bertumpu pada upaya peningkatan produktivitas dan efisiensi. Strategi pengembangan daya saing dan penetapan kebijakan pemerintah dalam usaha meningkatkan produktivitas sumber daya, merupakan titik sentral teori keunggulan kompetitif. Teori keunggulan kompetitif menyempurnakan sistem pengembangan perusahaan/ industri dalam suatu negara. Pendapat yang dianut selama ini menyatakan bahwa keberhasilan pengembangan industri suatu negara sangat dipengaruhi oleh keunggulan komparatif yang ada.

Salah satu alat yang digunakan untuk menganalisis keunggulan komparatif adalah dengan *Revealed Comparative Advantage* (RCA). Analisis *Revealed Comparative Advantage* (RCA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis atau mengukur keunggulan komparatif di suatu. Penggunaan analisis ini dianggap unggul karena nilai keunggulan komparatif tersebut tercermin dan terlihat pada nilai ekspornya. Cahya tahun 2010 menggunakan analisis daya saing *Revealed Competitif Advantage* (RCA) menyebutkan bahwa komoditas ikan tuna segar dan ikan tuna olahan memiliki daya saing komparatif (Nilan., 2010). Sementara itu, komoditas ikan tuna beku tidak memiliki keunggulan komparatif. Penelitian lain mengkaji keunggulan komparatif melalui analisa RCA terkait dengan industri tuna kaleng di Thailand (Putthipokin, P. 2001). Studi ini menggunakan indeks RCA untuk menganalisa industri ikan tuna kaleng di Thailand, Filipina, dan Indonesia dimana Thailand merupakan pesaing utama dari lima importir utama yaitu Amerika Serikat, Uni Eropa, Kanada, Australia, dan Jepang untuk periode tahun 1994-1999. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks RCA ekspor Thailand didapatkan lebih besar dari

dua negara lainnya (Indonesia dan Filipina) dari empat importir utama kecuali Uni Eropa, dan eksportir Thailand mempunyai keunggulan komparatif yang lebih besar.

Selanjutnya pada tahun 2003, Kijboonchoo dan Kalayanakupt melakukan analisa keunggulan komparatif dan keunggulan kompetitif ekspor tuna kaleng di pasar dunia. Kedua peneliti tersebut membandingkan indeks RCA terhadap eksportir utama untuk selama empat periode: 1982-1986, 1987-1991, 1992-1995, dan 1996-1998. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keunggulan komparatif Thailand untuk ekspor tuna kaleng telah mengalami penurunan. Filipina dan Indonesia mempunyai keunggulan komparatif ekspor tuna kaleng relatif lebih rendah dibandingkan dengan Thailand. Pesaing utama ekspor Thailand tersebut umumnya mempunyai ketersediaan sumber daya ikan tuna yang lebih baik dan mempunyai armada penangkapan tuna di laut lepas yang efisien pada biaya yang lebih rendah (Kijboonchoo, T. And Kalayanakupt, K. 2003).

Nilan pada tahun 2010 menyatakan bahwa struktur pasar untuk komoditas ikan tuna adalah pasar monopolistik yang cenderung mengarah ke oligopoli akan membuat posisi Indonesia dalam pasar ikan tuna internasional hanya sebagai pengikut pasar, sehingga Indonesia tidak memiliki kekuasaan untuk menetapkan harga dan harus mengikuti harga yang ditetapkan oleh pemimpin pasar. Berdasarkan analisa keunggulan kompetitif disimpulkan bahwa komoditas ikan tuna Indonesia tidak memiliki keunggulan kompetitif. Hal ini dikarenakan kondisi faktor sumber daya yang masih rendah, struktur persaingan yang ketat, dan industri terkait dan pendukung yang kinerjanya masih rendah. Industri ikan tuna nasional memang memiliki kondisi permintaan yang baik karena terdapat dukungan oleh pemerintah dan kesempatan untuk melakukan pengembangan ikan tuna nasional. Namun hal ini akan sulit terjadi jika faktor sumber daya masih memiliki masalah yang sangat besar (Nilan., 2010).

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Model Specification

Metode untuk menganalisis keunggulan komparatif adalah *Revealed Comparative Advantage* (RCA) yang umumnya dikenal sebagai *Model Specification*. Konsep RCA merupakan rasio antara pangsa pasar dari sebuah produk suatu negara dalam pasar dunia, dengan pangsa pasar ekspor dari suatu negara terhadap total ekspor dunia. Rumus untuk menghitung RCA adalah sebagai berikut (Utkulu, Utku and Seymen, Dilek., 2004):

$$RCA = \frac{X_i^j / X_i}{Y_i / Y}$$

Notasi:

X_i^j = Ekspor tuna bentuk i dari negara j (Malaysia, Singapura, Thailand, Filipina dan Vietnam),

Y_i = Total ekspor negara j,

X_i = Ekspor total tuna bentuk i atau ekspor total perikanan negara j ke dunia,

Y = Total ekspor dunia (tuna atau perikanan).

2.2 Data Requirements and Sources

Penelitian ini difokuskan pada aliran perdagangan bilateral ASEAN untuk komoditas ikan tuna. Periode waktu penelitian 6 tahun (2005 – 2010). Data yang digunakan ekspor dan impor Indonesia dan data Negara ASEAN. Data-data tersebut diperoleh dari statistik hasil perikanan dan kelautan Indonesia, yaitu dari berbagai sumber seperti: *www.fisher*, Biro Pusat Statistik (BPS), *ITC calculations based on Eurostat, United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics*.

III. HASIL/TEMUAN

Negara-negara utama ASEAN sebagai pengeksport komoditas ikan tuna di pasar Internasional adalah Indonesia, Malaysia, Singapura, Thailand, Filipina dan Vietnam. Berdasarkan Data dari *United Nations Commodity Trade Statistics Database* tahun 2011 menunjukkan bahwa dalam periode 2000-2010, Indonesia memiliki rata-rata pertumbuhan ekspor tuna lebih rendah dibandingkan dengan negara Thailand dan Filipina. Pertumbuhan ekspor tuna Indonesia sebesar 5,2 persen di bawah rata-rata pertumbuhan ekspor tuna dunia sekitar 7,4 persen. Thailand dan Filipina mencapai pertumbuhan ekspor tuna masing-masing mencapai sekitar 14,3 persen dan 12,0 persen (*United Nations Commodity Trade Statistics Database, 2011*).

Tabel 1. Pertumbuhan Ekspor Tuna Menurut Jenis dan Bentuk Produk 2000-2010

Jenis Produk Ekspor Komoditas Ikan Tuna	Indonesia	Malaysia	Singapore	Thailand	Filipina	Vietnam	Dunia
Tuna (<i>albacore, longfin</i>) Fresh or Chilled, whole	-22.5	-	-	345.8	-	-	1.3
Tuna (<i>yellowfin, longfin</i>) Fresh or Chilled, whole	-9.3	2.1	-1.27	11.5	-17.5	0.01	0.4
Tuna (<i>Skipjack, stripe-belly bonito</i>) Fresh or Chilled, whole	-20	0.12	11.2	24.6	52.2	0.25	-2.1
Tuna <i>nes</i> , Fresh or Chilled, whole	9.5	0.17	1.12	-44.3	-23.9	-	2.3
Tuna (<i>albacore, longfin</i>) Frozen, whole	-3.6	-2.02	-	65.2	-	0.21	3.1
Tuna (<i>yellowfin, longfin</i>) Frozen, whole	6	1.1	3.16	31.4	23.6	2.12	4.8
Tuna (<i>Skipjack, stripe-belly bonito</i>) Frozen, whole	19.8	0.023	2.09	25.8	-8.9	-	16.4
Tuna <i>nes</i> , Frozen, whole	12.1	(2,01)	10.05	-8.9	43.5	10.1	-3.6
Tuna <i>Skipjack, Bonito</i> , prepared-preserved, not minced	9	0	16.14	14.2	16.4	-	12.7
Rata-Rata	5.2	1.9	10	14.3	12	-	7.4

Sumber: *Statistika Kelautan dan Perikanan Indonesia, ITC calculations based on Eurostat, United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics, 2011*

Dalam periode tahun 2000-2010, Indonesia, Malaysia, Singapura, Thailand, Filipina dan Vietnam menunjukkan perubahan pangsa ekspor tuna yang semakin meningkat. Pangsa pasar ketiga negara tersebut meningkat cukup drastis dari sebesar 24,2 persen pada tahun 2000 menjadi sekitar 67,7 persen pada tahun 2010. Thailand telah menunjukkan perubahan yang paling cepat dibandingkan Indonesia dan Filipina. Selama 9 tahun, Thailand telah menunjukkan perkembangan yang begitu cepat dalam sumbangan ekspornya di pasar dunia yaitu dari sekitar 14,6 persen pada tahun 2000 meningkat menjadi sekitar 48,6 persen pada tahun 2010. Sementara itu, Indonesia dan Filipina pada tahun 2000 masih menyumbang sekitar 6,3 persen dan 3,3 persen dan pada tahun 2010 meningkat menjadi masing-masing sekitar 9,9 persen dan 9,2 persen. Dibandingkan dengan kedua negara Thailand dan Filipina, perkembangan ekspor ikan tuna Indonesia di dunia terlihat paling lambat. Pada Tabel 2 terlihat bahwa ekspor tuna segar Indonesia cenderung mengalami penurunan pangsa pasarnya, kecuali tunas segar.

Tabel 2. Pangsa Ekspor Tuna Negara-Negara Utama ASEAN Menurut Bentuk dan Jenis Komoditas Terhadap Pasar Dunia Tahun 2010 (dalam persentase)

Komoditas Ikan Tuna	Indonesia	Malaysia	Singapura	Thailand	Filipina	Vietnam
1. Fish, Fresh or Chilled						
a. Tuna <i>Albacore</i>	0,00	-	-	-	-	-
b. Tuna <i>Yellowfin</i>	0,72	-	0,00	0,00	-	-
c. Tuna <i>Skipjack</i>	0,00	-	-	-	-	0,02
d. Tuna Lainnya	1,40	0,00	0,02	0,00	-	
Jumlah	2.12	0.00	0.02	0.00	-	0.02
2. Frozen Fish						
a. Tuna <i>Albacore</i>	0,36	0,00	0,06	0,12	-	0,13
b. Tuna <i>Yellowfin</i>	1,34	0,01	0,02	0,09	0,03	0,06
c. Tuna <i>Skipjack</i>	3,31	0,01	0,01	0,75	0,01	0,02
d. Tuna Lainnya	0,87	0,00	0,05	0,10	0,01	0,13
Jumlah	5.87	0.02	0.14	1.07	0.04	0.34

Sumber: Statistik Ekspor Hasil Perikanan, ITC calculations based on Eurostat, United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics, 2011

Catatan : 0,00 : Nilai relatif lebih kecil, (misal Tuna *Albacore* Indonesia nilai 0,0001)
: Tidak melakukan kegiatan ekspor

Daya saing ekspor tuna Indonesia, Thailand, dan Filipina Dalam periode tahun 2000-2010 masih tetap bisa mempertahankan posisi keunggulan komparatifnya. Berbeda dengan Thailand dan Filipina, Indonesia menunjukkan banyak keragaman jenis komoditas tuna yang masih mampu bisa bersaing di pasar tuna internasional. Namun demikian, untuk jenis tuna *albacore* baik segar dan beku terus menunjukkan penurunan daya saingnya sebagaimana terlihat oleh semakin menurunnya nilai RCAnya yaitu dari 0,8 untuk *albacore* segar dan 1,0 untuk *albacore* beku pada tahun 2000 menjadi masing-masing sebesar 0,1 dan 0,8 pada tahun 2010. Sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.

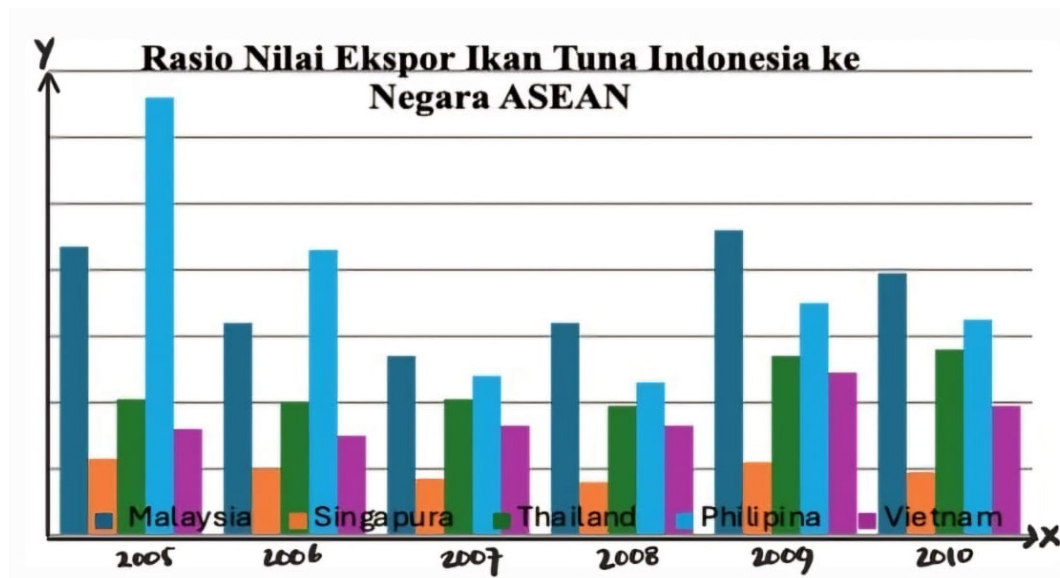
Tabel 3. *Revealed Comparative Advantage* Ekspor Tuna Indonesia dan ASEAN, Periode 2005-2010

Tahun	Indonesia	Malaysia	Singapura	Thailand	Filipina	Vietnam
2005	3.34	2.44	1.04	1.61	5.52	4.26
2006	2.83	1.65	0.81	1.22	4.26	3.44
2007	3.34	0.41	0.57	0.30	4.15	3.96
2008	3.66	2.13	0.71	0.38	4.67	4.41
2009	3.30	0.60	0.77	0.37	4.39	4.32

Sumber: Statistik Hasil Ekspor Perikanan, *United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics*, (diolah), 201

Pola yang sama juga terjadi pada posisi daya saing ekspor tuna Filipina, dimana tingkat daya saing yang semakin meningkat dialami oleh tuna *yellowfin* dan tuna *skipjack* beku. Hal ini terlihat dari nilai RCA yang terus meningkat dari masing-masing sebesar 0.15 pada tahun 2005 menjadi sekitar 0.22 pada tahun 2009.

Rasio nilai ekspor tuna Indonesia terhadap negara-negara ASEAN bermanfaat untuk melihat sejauh mana kemampuan Indonesia mampu menyediakan ekspor tuna di pasar internasional dibandingkan dengan negara-negara lain. Dalam perkembangannya, Indonesia telah jauh ketinggalan Thailand dalam menyediakan produk eksporn tuna di pasar internasional. Hal ini ditunjukkan oleh semakin menurunnya nilai rasio ekspor tuna Indonesia terhadap Thailand yaitu dari sekitar 0,4 pada tahun 2000 turun menjadi sekitar 0,2 pada tahun 2009.



Gambar 1. Rasio Nilai Ekspor Ikan Tuna Indonesia ke Negara ASEAN (Sumber: Statistik Hasil Ekspor Perikanan, ITC calculations based on Eurostat, *United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International*

Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics, 2011. Sumbu Y Persentase. Sumbu X Ekspor Indonesia Ke Malaysia, Singapura, Thailand, Filipina, dan Vietnam Tahun 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, dan 2010.

Ekspor ikan tuna Indonesia masih lebih tinggi dari Filipina, meskipun secara perlahan posisi Filipina hampir mampu menyamai Indonesia dalam menyediakan produk ekspor tunanya di pasar internasional. Lebih jelasnya mengenai rasio perkembangan nilai ekspor tuna Indonesia ke dan Negara-Negara ASEAN dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rasio Nilai Ekspor Tuna Indonesia Terhadap Negara ASEAN Tahun 2005 – 2010 (dalam persentase)

Tahun	Indonesia dan Malaysia	Indonesia dan Singapura	Indonesia dan Thailand	Indonesia dan Filipina	Indonesia dan Vietnam
2005	8,7	2,3	4,1	13,2	3,2
2006	6,4	2,0	4,0	8,6	3,0
2007	5,4	1,7	4,1	4,8	3,3
2008	6,4	1,6	3,9	4,6	3,3
2009	9,2	2,2	5,4	7,0	4,9
2010	7,9	1,9	5,6	6,5	3,9

Sumber: Statistik Hasil Ekspor Perikanan, ITC calculations based on Eurostat, United Nations Statistics Division, World Trade Organisation, International Monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) statistics, (diolah), 2011

Pada Tabel 4 Indonesia masih unggul dalam menyediakan produk ekspor di pasar untuk tuna jenis *skipjack* dan tuna nes baik segar maupun beku. Indonesia bahkan menunjukkan peningkatan *supply* ekspor tuna nes dibandingkan Thailand, dimana pada tahun 2000 rasio nilai ekspor tuna nes segar dan beku Indonesia masing-masing adalah sebesar 14,4 dan 6,1 dan pada tahun 2009 meningkat menjadi sekitar 6.253,4 dan 39,4. Sementara itu, untuk tuna *skipjack* segar dan tuna *albacore* beku tampak menunjukkan penurunan yang cukup drastis meskipun Indonesia masih lebih banyak menyediakan tuna tersebut di pasar internasional. Khusus untuk tuna *albacore* segar, tuna *yellowfin* beku, dan tuna olahan Thailand telah mampu melampaui Indonesia dalam menyediakan ekspor tuna tersebut di pasar internasional.

IV. KESIMPULAN

Daya saing ekspor tuna Indonesia dari segi *Revealed Comparative Advantage* (RCA) lebih diunggulkan oleh Filipina, karena tuna Filipina paling digemari karena banyak kandungannya, dan lebih kenyal dagingnya. Sementara tuna

Indonesia lebih disukai di Negara ASEAN karena daging dan kualitasnya juga lebih bagus. Daya saing Indonesia berada pada posisi ketiga setelah Filipina dan Vietnam. Ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki daya saing yang tinggi, jika dibandingkan dengan Negara ASEAN lainnya seperti Malaysia, Singapura dan Thailand.

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di kawasan ASEAN dan sebagai negara produsen tuna. Kerjasama negara-negara ASEAN dalam sektor perikanan tuna harus terus ditingkatkan. Salah satunya dengan meningkatkan keterpaduan pengembangan ekonomi berbasis kewilayahan dengan membangun pusat perindustrian tuna yang mendekati wilayah *fishing ground* serta didukung dengan infrastruktur yang memadai, seperti industri pengolahan Ikan, tempat pendaratan ikan, *cold storage*, dan lain-lain. Adanya kesepahaman dan komitmen bersama masyarakat ekonomi ASEAN sebagai kekuatan dalam mengidentifikasi segala peluang, tantangan, dan kelemahan yang ada untuk kemudian secara tepat dapat merumuskan strategi pembangunan sektorkelautan yang benar-benar berdaya guna dan berhasil guna bagi Indonesia. Untuk mendorong peningkatan perdagangan tuna sesama negara ASEAN, peningkatan daya saing produk tuna, kerjasama pengelolaan perikanan tuna yang lestari, dan memperkuat serta membangun aliansi bersama dalam menghadapi isu-isu regional dan internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. (2011). Indonesia Minta UE Kaji Ulang Kuota Ekspor Tuna. *AntaraNews.Com*. Tersedia di: <http://www.antaranews.com/print/1173678500> [Diakses 23 Januari 2012].
- Deperind. Departemen Perindustrian. (2009). *Roadmap Pengembangan Industri Pengolahan Hasil Laut*. Jakarta: Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2000). *FISHSTAT Plus: Universal Software for Fishery Statistical Time Series, Version 2.3*. Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. Tersedia di: www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2001). *Multilateral Trade Negotiations on Agriculture: A Resource, Manual I, Module 1*. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2011a). *FishStatJ*.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2011b). *Food Outlook: Global Market Analysis*. Edisi Juni 2011.
- KKP. Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2010). *Rencana Strategis Kementerian Kelautan dan Perikanan 2010-2014*.
- KKP. Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2011). *Kebijakan Importasi Ikan*. Direktur Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Perikanan (P2HP) Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. Bahan disampaikan pada Rapat Dengar Pendapat Ditjen P2HP dengan Komisi IV DPR-RI pada 25 Oktober 2011.
- SIABE. Sistem Informasi Agroindustri Berbasis Ekspor, Bank Indonesia. (2011). Tersedia di: <http://www.bi.go.id/sipuk/id/?id=3>.
- UNComtrade. United Nations Commodity Trade Statistics Database. (2011). Tersedia di: <http://unstats.un.org/unsd/trade/imts/anntotpubs.htm> [Diakses 14 Desember 2011].
- Nilan, C.I. (2010). *Analisis Daya Saing Ikan Tuna Indonesia di Pasar Internasional*. Bogor: Departemen Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor.
- Chen, N. (2004). Intra-national versus international trade in the European Union: Why do national borders matter? *Journal of International Economics*, 63, pp. 93-118.
- Kijboonchoo, T. dan Kalayanakupt, K. (2003). Comparative Advantage and Competitive Strength of Thai Canned Tuna Export in the World Market: 1982-1998. *ABAC Journal*, 23(1).
- Lindert, P.H. dan Kindleberger, C.P. (1986). *International Economics*. 8th ed. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc.

- Nachrowi, D.N. (2006). *Ekonometrika, untuk Analisis Ekonomi dan Keuangan*. Cetakan Pertama. Jakarta: Salemba Empat.
- Nazzaruddin. (1993). *Komoditi Ekspor Pertanian: Perikanan dan Peternakan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Putthipokin, P. (2001). *An Analysis of Comparative Advantage of Thailand Canned Tuna Industry*. Thesis. Kasetsart University.
- Utkulu, U. dan Seymen, D. (2004). Revealed Comparative Advantage and Competitiveness: Evidence for Turkey vis-à-vis the EU/15. Tersedia di: <http://www.etsg.org/ETSG2004/Papers/seymen.pdf> [Diakses 23 Januari 2013].
- www.fisher.
- www.fishstat.seafdec.org.
- www.imf.org.
- www.oecd.org.
- www.wto.org.
- https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/CountriesRegions/InternationalStatistics/Institutions/73_01_ITC_Data.html.
- <http://comtrade.un.org/>.
- <http://statistik.kkp.go.id/>.
- <http://unstats.un.org>.

ARUS MENYUSUR PANTAI (*LONGSHORE CURRENT*) UNTUK IDENTIFIKASI ARUS BALIK (*RIP CURRENT*) DI LAMPUUK-LHOKNGA ACEH BESAR

¹Ichsan Setiawan*, Yopi Ilhamsyah, Muhammad Irham, and Syarifah Meurah Yuni

¹Marine Sciences Department, Faculty of Marine and Fisheries Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, Indonesia

Penulis Korespondensi: ichsansetiawan@usk.ac.id

RINGKASAN

Penelitian ini mengkaji arus menyusur pantai di perairan Lampuuk-Lhoknga. Perairan tersebut berlokasi di perairan Barat Aceh Besar yang berbatasan dengan Samudera Hindia dan Pulau Sumatera. Tahapan arus menyusur pantai ini didasarkan pada distribusi tinggi dan arah gelombang tahun 2021-2022 sebagai pembangkitnya. Metode yang dipakai menggunakan persamaan hidrodinamika yang *diskritisasi* dengan pendekatan numerik beda hingga. Berdasarkan hasil penelitian bahwa pemodelan arus akibat gelombang ini menghasilkan arus menyusur pantai (*longshore current*) dengan kecepatan mencapai 2 m/s dan arus balik (*rip current*) mencapai 1,5 m/s di Lampuuk-Lhoknga. Selanjutnya berdasarkan survei lapangan ditemukan arus balik di Lampuuk-Lhoknga.

I. PENDAHULUAN

Perairan pantai Lampuuk-Lhoknga berlokasi di pantai Barat paling ujung Pulau Sumatera di Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh, Indonesia (Gambar 1). Perairan pantai ini sangat unik letak geografisnya dan banyak aktifitas nelayan, pelayaran dan pariwisata yang terletak berhadapan langsung dengan arus dan gelombang Samudera Hindia (Ningsih *et al.*, 2021; Srinivas *et al.*, 2021; Du *et al.*, 2019; Imanullah *et al.*, 2019; Setiawan *et al.*, 2018). Disamping itu perairan pantai ini juga sangat dipengaruhi oleh topografi wilayah di sekitar pantai yang ditunjukkan dengan nilai kerentanan pantai. Topografi pesisir timur Lampuuk-Lhoknga merupakan wilayah pegunungan yang berbatasan dengan Samudera Hindia (Irham *et al.*, 2021; Setiawan dan Irham, 2018; Irham dan Setiawan, 2017; Rizal *et al.*, 2013). Bagian Utara adalah lembah dan cekungan dataran rendah, dan di sebelah Barat adalah Samudera Hindia. Faktor-faktor tersebut di atas merupakan karakteristik yang mempengaruhi sifat arus menyusur pantai di perairan pantai Lampuuk-Lhoknga.

Pantai Lampuuk-Lhoknga, Aceh Besar (Gambar 1) memiliki karakteristik unik dari dinamika pantai karena terletak berhadapan langsung dengan Samudera India. Namun, faktor dominan dinamika pantai Lampuuk-Lhoknga adalah arus menyusur pantai. Interaksi arus menyusur pantai akibat gelombang dengan topografi pantai dan profil batimetri Lampuuk-Lhoknga memiliki dinamika arus yang unik dibandingkan dengan wilayah

Gambar 1. Peta lokasi penelitian, (a). Peta administrasi Aceh Besar (Sumber Gambar: <https://uptbgis.bandaacehkota.go.id/katalog/peta/detail/admin-aceh-besar>) (b). Peta kontur batimetri perairan Lampuuk-Lhoknga (meter) (Sumber Gambar: Komputasi authors berdasarkan data *Shuttle Radar Topography Mission*, <http://srtm.csi.cgiar.org>)

Penelitian ini bertujuan antara lain: (1) Menguraikan arus menyusur pantai di perairan Lampuuk-Lhoknga yang didasarkan model hidrodinamika gelombang, (2) *Output* simulasi berupa: arus menyusur pantai perairan Lampuuk-Lhoknga, (3) Selanjutnya dari arus menyusur pantai Lampuuk-Lhoknga tersebut diidentifikasi/dianalisis arus balik (*rip current*) yang terbentuk/terjadi, (4) Menyimpulkan arus menyusur pantai dan arus balik (*rip current*) di perairan Lampuuk-Lhoknga.

Seperti yang telah diketahui bahwa arus menyusur pantai (*longshore current*) yang terjadi di perairan pantai akan menyebabkan aktifitas nelayan, pelayaran kapal terganggu dan perairan pantai akan mengalami perubahan perubahan morfologi pantai yaitu erosi dan sedimentasi. Hal ini dipengaruhi oleh iklim global yang sewaktu-waktu dapat berubah. Salah satu penyebab utama arus menyusur pantai adalah gelombang laut. Mengingat dampaknya yang begitu besar, penelitian penerapan model yang menyangkut iklim dan ekosistem kelautan ini sangat diperlukan untuk menganalisis pengaruh perubahan iklim (gelombang) terhadap arus menyusur pantai untuk identifikasi arus balik (*rip current*) di perairan pantai.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1. Arus menyusur pantai

Arus menyusur pantai (*longshore current*) diselesaikan dengan persamaan model hidrodinamika gelombang. Persamaan Pengatur hidrodinamika akibat gelombang yang digunakan adalah persamaan kekekalan massa kontinuitas dan kekekalan momentum yang diintegrasikan terhadap kedalaman dapat dituliskan sebagai berikut (Koutitas, 1988; Horikawa; 1988; dan Setiawan, 2009):

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho(h+\zeta)} + R_x + M_x \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho(h+\zeta)} + R_y + M_y \dots\dots\dots(2)$$

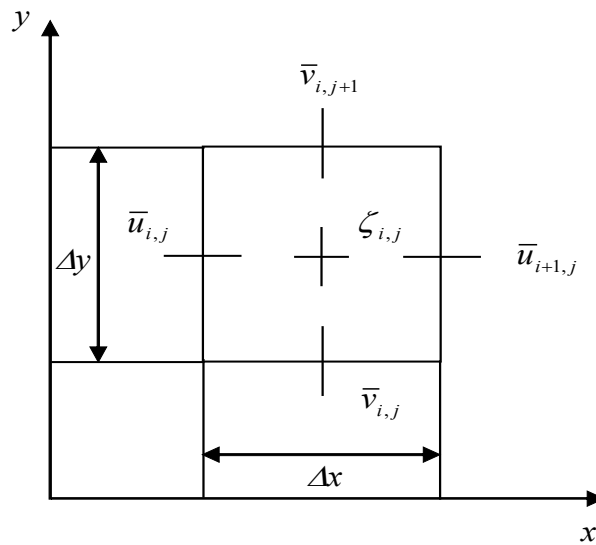
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}(h+\zeta))}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{v}(h+\zeta))}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Dengan t adalah waktu, (x,y) koordinat katesian dalam bidang horizontal, (\bar{u}, \bar{v}) komponen kecepatan arus, (τ_{bx}, τ_{by}) stress gesekan dasar, (R_x, R_y) stress radiasi dalam arah x dan y , g percepatan gravitasi, h kedalaman perairan, dan ζ adalah elevasi muka air.

Diskritisasi Persamaan hidrodinamika (1)-(3) digunakan metoda eksplisit beda pusat untuk turunan terhadap ruang dan beda maju untuk turunan terhadap waktu. Kestabilan numerik pada metoda ini ditentukan oleh kriteria stabilitas:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta y}{\Delta t} > \left\{ |U| + \sqrt{g(h + \zeta)} \right\}_{\max} \dots\dots\dots(4)$$

Skema diskritisasi untuk komponen kecepatan dan elevasi $\bar{u}_{i,j}, \bar{v}_{i,j}$ dan $\zeta_{i,j}$ diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Diskritisasi $\bar{u}_{i,j}, \bar{v}_{i,j}$ dan $\zeta_{i,j}$. Sumber gambar: Modifikasi berdasarkan skema grid Arakawa C (Arakawa dan Lamb, 1977).

Dengan menggunakan metoda beda hingga eksplisit, diperoleh hasil diskritisasi persamaan hidrodinamika sebagai berikut:

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1} - \zeta_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(Dx_{i+1,j} \bar{u}_{i+1,j}^n - Dx_{i,j} \bar{u}_{i,j}^n)}{\Delta x} + \frac{(Dy_{i,j+1} \bar{v}_{i,j+1}^n - Dy_{i,j} \bar{v}_{i,j}^n)}{\Delta y} = 0 \dots(5)$$

dengan:

$$Dx_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i-1,j} + \zeta_{i-1,j}^n)$$

$$Dy_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i,j-1} + \zeta_{i,j-1}^n)$$

Persamaan momentum dalam arah-x:

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{u}_{i,j}^{n+1} - \theta \bar{u}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(1-\theta)}{4} (\bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i-1,j}^n + \bar{u}_{i,j+1}^n + \bar{u}_{i,j-1}^n) + \\ & \left[\frac{(\bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i,j}^n)^2 - (\bar{u}_{i,j}^n + \bar{u}_{i-1,j}^n)^2}{8\Delta x} \right] + \bar{v}_{i,j}^{*n} \frac{(\bar{u}_{i,j+1}^n - \bar{u}_{i,j-1}^n)}{2\Delta y} \\ & = -g \frac{(\zeta_{i,j}^n - \zeta_{i-1,j}^n)}{\Delta x} + M_{x_{i,j}} - \frac{C_f}{H_{x_{i,j}}} \bar{u}_{i,j}^n \sqrt{\bar{u}_{i,j}^{n2} + \bar{v}_{i,j}^{*n2}} - R_{x_{i,j}} \end{aligned} \dots\dots\dots(6)$$

dengan: $\bar{v}_{i,j}^{*n} = \frac{1}{4} (\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i,j+1}^n + \bar{v}_{i-1,j}^n + \bar{v}_{i-1,j+1}^n)$

$$\begin{aligned} M_{x_{i,j}} &= \frac{\left\{ \varepsilon_{i,j} (\bar{u}_{i+1,j}^n - \bar{u}_{i,j}^n) - \varepsilon_{i-1,j} (\bar{u}_{i,j}^n - \bar{u}_{i-1,j}^n) \right\}}{\Delta x^2} \\ &+ \frac{\left\{ \varepsilon_{*i,j+1} (\bar{u}_{i,j+1}^n - \bar{u}_{i,j}^n) - \varepsilon_{*i,j} (\bar{u}_{i,j}^n - \bar{u}_{i,j-1}^n) \right\}}{\Delta y^2} \\ \varepsilon_{*i,j} &= \frac{1}{4} (\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{i-1,j} + \varepsilon_{i,j-1} + \varepsilon_{i-1,j-1}) \\ R_{x_{i,j}} &= \frac{1}{\rho (H_{x_{i,j}})} \left\{ \frac{S_{xx_{i,j}} - S_{xx_{i-1,j}}}{\Delta x} + \frac{S_{xy_{i,j+1}} + S_{xy_{i-1,j+1}} - S_{xy_{i,j-1}} - S_{xy_{i-1,j-1}}}{2\Delta y} \right\} \\ H_{x_{i,j}} &= (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i-1,j} + \zeta_{i-1,j}^n) / 2 \end{aligned}$$

Persamaan momentum dalam arah-y:

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{v}_{i,j}^{n+1} - \theta \bar{v}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(1-\theta)}{4} (\bar{v}_{i,j+1}^n + \bar{v}_{i,j-1}^n + \bar{v}_{i+1,j}^n + \bar{v}_{i-1,j}^n) + \\ & \bar{u}_{i,j}^{*n} \frac{(\bar{v}_{i+1,j}^n - \bar{v}_{i-1,j}^n)}{2\Delta x} + \left[\frac{(\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i,j+1}^n)^2 - (\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i,j-1}^n)^2}{8\Delta y} \right] \\ & = -g \frac{(\zeta_{i,j}^n - \zeta_{i,j-1}^n)}{\Delta y} + M_{y_{i,j}} - \frac{C_f}{H_{y_{i,j}}} \bar{v}_{i,j}^n \sqrt{\bar{u}_{i,j}^{*n2} + \bar{v}_{i,j}^{n2}} - R_{y_{i,j}} \end{aligned} \dots\dots\dots(7)$$

dengan, q = parameter pada metode selisih hingga jenis lax-diffusive. Nilai q harus ditentukan dengan hati-hati sehingga difusi menjadi realistik.

$$\begin{aligned} \bar{u}_{i,j}^{*n} &= \frac{1}{4} (\bar{u}_{i,j}^n + \bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i,j-1}^n + \bar{u}_{i+1,j-1}^n) \\ M_{y,j} &= \frac{\left\{ \epsilon_{i,j} (\bar{v}_{i,j+1}^n - \bar{v}_{i,j}^n) - \epsilon_{i,j-1} (\bar{v}_{i,j}^n - \bar{v}_{i,j-1}^n) \right\}}{\Delta x^2} \\ &+ \frac{\left\{ \epsilon_{*i+1,j} (\bar{v}_{i+1,j}^n - \bar{v}_{i,j}^n) - \epsilon_{*i,j} (\bar{v}_{i,j}^n - \bar{v}_{i-1,j}^n) \right\}}{\Delta y^2} \quad \epsilon_{*i,j} = \frac{1}{4} (\epsilon_{i,j} + \epsilon_{i,j-1} + \epsilon_{i-1,j} + \epsilon_{i-1,j-1}) \\ R_{y,j} &= \frac{1}{\rho (H_{y,j})} \left\{ \frac{S_{yy,j} - S_{yy,j-1}}{\Delta y} + \frac{S_{xy+1,j} + S_{xy+1,j-1} - S_{xy-1,j} - S_{xy-1,j-1}}{2\Delta x} \right\} \end{aligned}$$

Arus menyusur pantai diselesaikan dengan model hidrodinamika gelombang yang didekati dengan metode numerik beda hingga (persamaan 4-7). Data masukan awal model numerik yaitu distribusi tinggi dan arah gelombang yang bersumber dari *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)-WaveWatch III (WW3) Global Wave* dan model refraksi dan difraksi (Setiawan *et al.*, 2021c).

Solusi numerik dari persamaan hidrodinamika gelombang (persamaan 1-3) pada penelitian ini diselesaikan dengan diskrit persamaan momentum dan kontinuitas berdasarkan *stress* radiasi gelombang (persamaan 4-7).

2.2 Metode Penelitian

Metode arus menyusur pantai (*longshore current*) dan arus balik (*rip current*) terdiri atas:

1. Pengumpulan/perhitungan data tinggi dan arah gelombang dari *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)-WaveWatch III (WW3) Global Wave* tahun 2021-2022 <https://www.pacioos.hawaii.edu/waves/model-global/> dan data model refraksi dan difraksi gelombang.
2. Memodelkan arus menyusur pantai Lampuuk-Lhokngayang diselesaikan dengan model hidrodinamika gelombang (persamaan 1-7) berdasarkan Gambar 1. Selanjutnya dilakukan validasi arustersebut dengan lapangan.
3. Analisis arus menyusur pantai (*longshore current*) untuk identifikasi arus balik (*rip current*) dengan memperhatikan pola arus yang terbentuk.

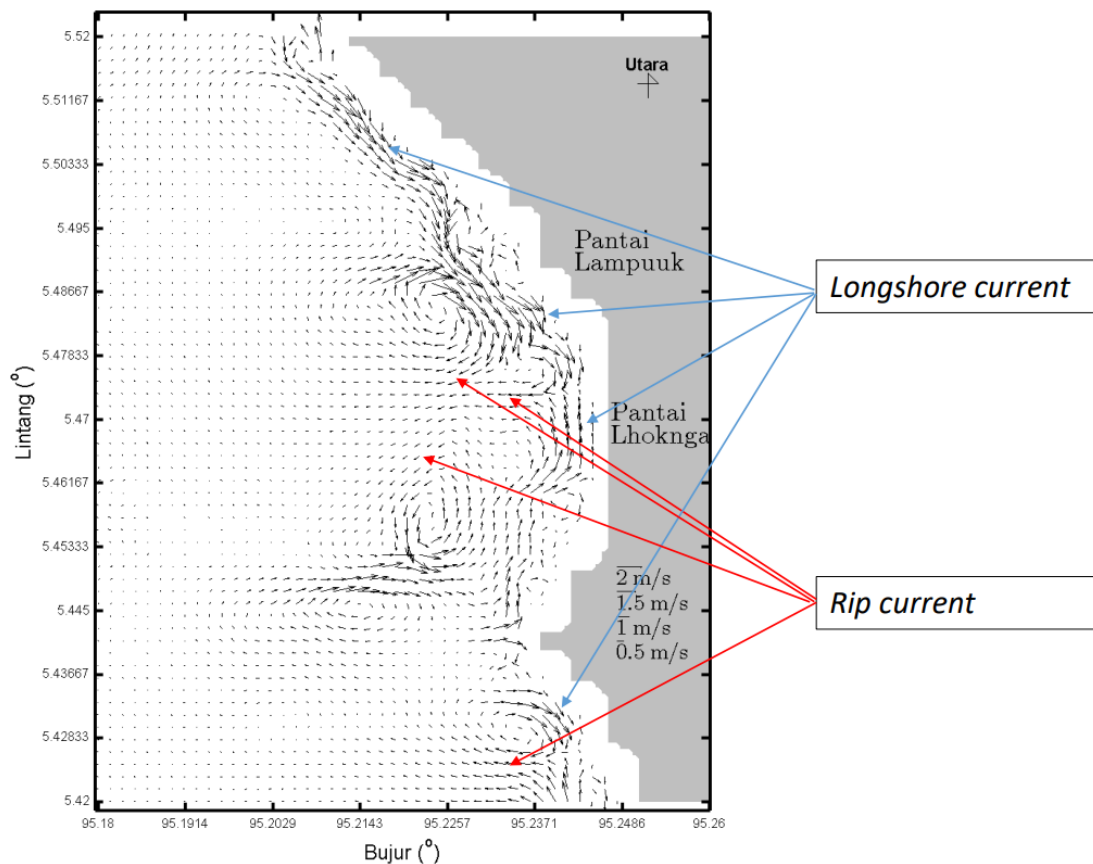
III. HASIL/TEMUAN

3.1 Arus Menyusur Pantai

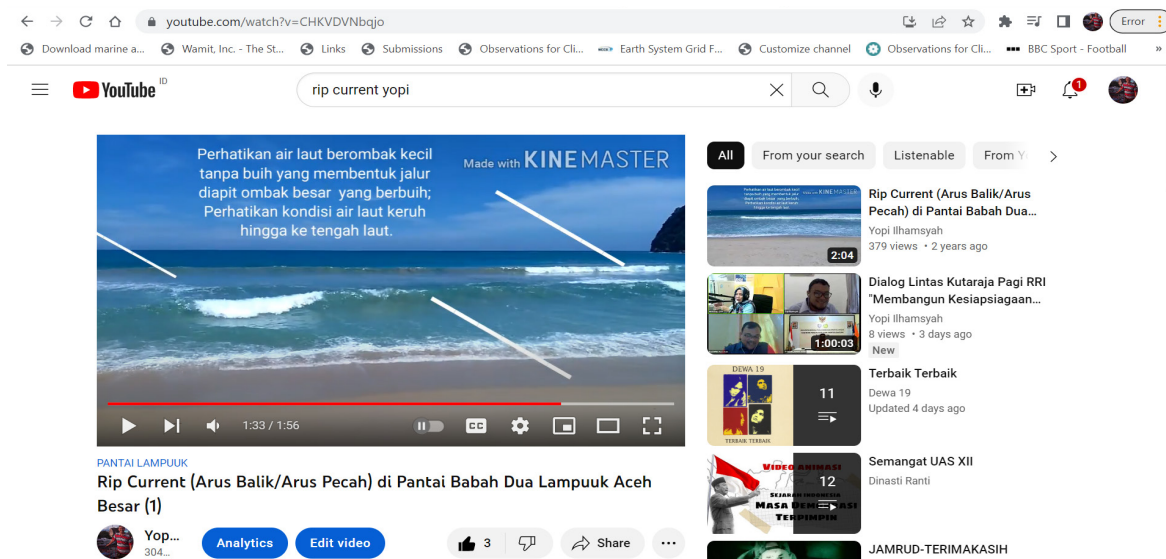
Sirkulasi arus menyusur pantai ditunjukkan pada Gambar 3, membentuk arus sejajar pantai, arus balik, arus menuju pantai dan pusaran arus. Pusaran arus memutar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam dan

arus balik dibentuk dari dua arah arus sejajar pantai yang saling bertemu. Arus menyusur pantai mencapai 2 m/s. Berdasarkan identifikasi pemodelan arus menyusur pantai diperoleh bahwa arus balik di Lampuuk-Lhoknga berkisar antara 1 m/s – 1,5 m/s.

Selanjutnya hasil survei lapangan pada saat mengunjungi pantai Lampuuk. Hasil survei tersebut menunjukkan bahwa keberadaan arus balik dapat diidentifikasi dengan mengamati air laut berombak kecil tanpa buih yang membentuk jalur diapit ombak besar yang berbuih. Untuk mengetahui apakah benar air tenang mengandung arus balik kuat, kita bisa melempar sepotong kayu kering di spot tersebut. Di spot arus balik kayu tersebut hanyut timbul tenggelam dengan gerakan memutar sejauh 50meter ke tengah laut hanya dalam hitungan detik. Ini berarti kecepatan arus balik bawah permukaan sangat tinggi serta berputar. Pusaran ini meredam ombak datang sehingga kondisi laut di spot arus balik menjadi tenang namun tetap menghanyutkan. Kondisi ini tentu tidak aman meski hanya bermain air di tepi pantai. Kita menemukan pemberitaan korban tenggelam karena terseret arus/ombak, padahal mereka hanya mandi-mandi di pinggir laut. Kita jadi paham mengapa wisatawan asing dan peselancar tenggelam di Lhoknga dan Lampuuk meski mereka menguasai teknik berenang dan menyelam. Kita juga menemukan air laut di spot arus balik ini keruh, ini karena mengandung material pasir yang turut diseret ke tengah laut. Ini dapat menjadi pertanda kalau sedang terjadi arus balik.



Gambar 3. Arus menyusur pantai Lampuuk-Lhoknga (m/s). (Sumber Gambar: Komputasi authors)



Gambar 4. Arus balik di pantai Lampaok hasil surveilapangan (Sumber Gambar: <https://www.youtube.com/watch?v=CHKVDVNbjjo>)

Dengan kondisi arus bawah kencang membentuk pusaran serta kondisi air keruh tentu menyulitkan seorang yang dapat berenang sekalipun untuk bisa selamat dari arus balik. Kami melakukan uji coba di beberapa spot arus balik dan mendapati kayu menjadi tenang tidak lagi berputar setelah 50 meter dari pantai. Lebar arus balik antara 2-4 meter. Kami menemukan pula bahwa spot arus balik berkecepatan tinggi terjadi pada bagian pantai yang menjorok ke laut. Di sana, kayu hanyut 50 meter dalam waktu singkat. Ini ada kaitannya dengan gerakan ombak yang menyusur pantai (tidak tegak lurus pantai), ketika pecah timbul pusaran arus balik yang kuat. Kita juga mengunjungi pantai Lhoknga di depan pabrik Semen Andalas.

Kita mendapati ombak tinggi karena angin baratan bertiup kencang periode Juli hingga Agustus. Lhoknga memiliki garis pantai melengkung seperti teluk dengan batimetri dalam. Dari ombak yang pecah terbentuk pusaran arus balik kuat dengan jarak yang jauh ke tengah laut.

Bersumber dari Jamie MacMahan Profesor Oseanografi *Naval Postgraduate School* peneliti *RIP Current*, jika terjebak dan ingin selamat dari arus balik, yang pertama jangan panik. Jika bisa berenang ikuti jalur arus ini yang membawa kita ke tengah laut. Hadapkan tubuh ke laut lepas untuk mencegah masuknya kotoran atau pasir yang dibawa arus ke dalam mata, mulut dan hidung. Lambaikan tangan dengan sesekali membalikkan badan agar orang di pantai dapat melihat. Demikian juga jika menggunakan ban/pelampung. Jangan mencoba berenang ke pantai karena hanya membuat kita kelelahan. Bagaimana jika berenang ke samping kanan atau kiri. Hal ini juga tidak membantu karena kuatnya arus di bawah sehingga kaki turut tertarik arus yang menjauhi pantai. Setelah pengaruh arus balik menghilang, barulah berenang ke kanan atau kiri, terkadang ada ombak yang membantu kita kembali ke tepi pantai. Ada baiknya kawasan pantai rawan arus balik dibangun menara berikut penjaga pantai dari *Search and Rescue (SAR)* dan papan peringatan dilengkapi ilustrasi ciri-ciri arus balik. Dari ketinggian, kita dapat dengan mudah melacak keberadaan arus balik ini sembari mengingatkan warga lewat pengeras suara. Musim barat hindari mandi-mandi di laut, tidak bisa berenang dapat berakibat fatal, cukup nikmati keindahan alam sambil kulineran dari pinggir pantai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang dicapai, maka disimpulkan bahwa arus menyusur pantai (*longshore current*) di perairan Lampuuk-Lhoknga mencapai 2 m/s dan arus balik (*rip current*) di Lampuuk-Lhoknga mencapai 1,5 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Arakawa, A., Lamb, V. R. 1977. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics: Advances in Research and Applications*, 17, 173-265. doi:10.1016/B978-0-12-460817-7.50009-4
- Du, Y., Zhang, Y., Zhang, L. Y., Tozuka, T., Ng, B., & Cai, W. 2020. Thermocline warming induced extreme Indian Ocean Dipole in 2019. *Geophysical Research Letters*, 47(18), e2020GL090079.
- Chun, H., & Suh, K. D. 2017. Analysis of longshore currents with an Eulerian nearshore currents model. *Journal of Coastal Research*, 33(6), 1352-1366.
- Ilhamsyah, Y., Koesmaryono, Y., Hidayat, R., Nurjaya, I. W., Atmadipoera, A. S., & Rizal, S. 2018. Characteristics of hydro-oceanography in the Aceh waters, Indonesia: expedition by R/V Baruna Jaya IV. *Advances in Environmental Sciences*, 10(3), 200-208.
- Imanullah, I., Sofyan, S., Sugianto, S., Haditjar, Y., & Rizal, S. 2019. The relationship between monsoon and sea surface temperature in the western part of Aceh Waters, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 348, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Irham, M., & Setiawan, I. 2017. The study of flow resulting from wave on Lhonga beach, Aceh Besar. *OmniAkuatika*, 13(1): 5-12.
- Irham, M., Rusydi, I., Haridhi, H. A., Setiawan, I., Ilhamsyah, Y., Deli, A., ... & Siregar, A. M. 2021. Coastal Vulnerability of the West Coast of Aceh Besar: A Coastal Morphology Assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 815.
- Lowe, R. J., Buckley, M. L., Altomare, C., Rijnsdorp, D. P., Yao, Y., Suzuki, T., & Bricker, J. D. (2019). Numerical simulations of surf zone wave dynamics using Smoothed Particle Hydrodynamics. *Ocean Modelling*, 144, 101481.
- Ningsih, N. S., Sakina, S. L., Susanto, R. D., & Hanifah, F. 2021. Simulated zonal current characteristics in the southeastern tropical Indian Ocean (SETIO). *Ocean Science*, 17(4), 1115-1140.
- Nugroho, H. D., Luddin, M. R., & Akbar, M. 2021. Evaluation of hydro-oceanographic specialization education program in the sea naval education-oceanography education center. In *5th Global Conference on Business, Management and Entrepreneurship (GCBME 2020)* (pp. 624-632). Atlantis Press.
- Kang, S., Hun, W., & Soo, S. 2015. Characteristic of surface topography variation on the Gochang Beach, Southwestern Coast of Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 6, 533-542.
- Kim, H. D., & Kim, K. H. 2021. Analysis of rip current characteristics using dye tracking method. *Atmosphere*, 12(6), 719.
- Kumar, S. V. A., Sivaiah, B., Venkateswarlu, C., Gireesh, B., Sridevi, T., Rao, K. V., ... & Sharma, R. 2021. Investigation of rip current processes along Visakhapatnam beaches, east coast of India: A study based on GNSS drifters and dye experiments. *Journal of Earth System Science*, 130(2), 1-12.
- Rizal, S., Haridhi, H. A., Wilson, C. R., Hasan, A., & Setiawan, I. 2013. Community collection of ocean current data: an example from Northern Aceh Province, Indonesia. *SPC Trad. Mar. Res. Management and Knowledge Information Bulletin*, 31: 3-11.
- Setiawan, I. 2009. Validasi model numerik arus sejajar pantai dengan model analitik Longuet-Higgins. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 9(1): 76-83.
- Setiawan, I. 2013. Studi pendahuluan klasifikasi ukuran butir sedimen di Danau Laut Tawar, Takengon, Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Jurnal Depik*, 2(2): 92-96.

- Setiawan, I., Haditjar, Y., Ikhwan, M., Nufus, Z., Syukri, M., Ismail, N., & Rizal, S. 2020. Modeling of M2-TIDE in the western waters of Aceh, Indonesia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(8), 122-135.
- Setiawan, I., & Miftahuddin, M. 2020. Kajian Gelombang Laut akibat Monsun di Perairan Aceh. Laporan Akhir Penelitian Lektor Kepala. Universitas Syiah Kuala.
- Setiawan, I., Yuni, S. M., Miftahuddin, M., & Ilhamsyah, Y. 2021a. Prediction of the height and period of sea waves in the coastal waters of Meulaboh, Aceh Province, Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1882, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Setiawan, I., Yuni, S. M., Purnawan, S., Isman, R. S., Miftahuddin, M., & Ilhamsyah, Y. 2021b. Analysis of wave measurements in November 2018, January 2019, and March 2019 in the coastal waters of Leupung and Lhoong, Aceh Besar District, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 674, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Setiawan, I., & Ilhamsyah, Y. 2021c. Refraksi dan difraksi gelombang laut di perairan pantai Lampuuk, Lhoknga, Leupung, dan Lhoong Aceh Besar. Laporan Akhir Penelitian Lektor Kepala. Universitas Syiah Kuala.
- Setiawan I, & Irham, M. 2018. Wave trajectory study on the coast of Lhoknga, Aceh Besar, Indonesia: a numerical model approach. *Civil Engineering Dimension*, 20(1): 30-34.
- Setiawan, I., Yuni, S. M., Purnawan, S., Ilhamsyah, Y., & Wafdan, R. 2019. Simulation of two-dimensional currents to the depth and suspended sediment concentration in Aceh Besar Waters. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 284(012026).
- Setiawan, I., Ilhamsyah, Y., Miswar, E., & Haddrevi, A. 2008. Prediction study of wave propagation before and after tsunami in Ulee Lheue Coastal Waters, Aceh, Indonesia. *International Symposium Land Use after the Tsunami-Supporting Education, Research and Development in the Aceh Region*, pp. 249-254.
- Shen, L. D., Zou, Z. L., & Zhao, X. Z. 2018. Linear analysis of longshore currents instability over mild slopes. *China Ocean Engineering*, 32(6), 675-682.
- Sukhinov, A. I., Chistyakov, A. E., Protsenko, E. A., & Protsenko, S. V. 2021. Coastal protection structures influence on diffraction and reflection of waves simulation based on 3D wave hydrodynamics model. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1902, No. 1, p. 012133). IOP Publishing.
- Srinivas, G., Remya, P. G., Kumar, B. P., Modi, A., & Nair, T. B. 2021. The impact of Indian Ocean dipole on tropical Indian Ocean surface wave heights in ERA5 and CMIP5 models. *International Journal of Climatology*, 41(3), 1619-1632.
- Suzuki, T., & Cox, D. T. 2019. Statistical Analysis of Longshore Currents on a Barred Beach. *Journal of Coastal Research*, 35(6), 1215-1224.

ENDOSCOPIC MUCOSAL RECOGNITION BERBASIS KECERDASAN BUATAN DAN *INTERNET OF THINGS* SEBAGAI DETEKTOR DUGAAN PENYAKIT PARU OBSTRUKTIF KRONIS PADA PEROKOK

¹Budi Yanti^{1*}, Zarfah Fawwaz Muhammad, Teuku Fais Duta, Muhammad Iqbal Maulana,
Irmayani, Sherina

¹Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh,
Indonesia

Penulis Korepondensi: byantipulmonologist@usk.ac.id

RINGKASAN

Hubungan sinergis antara gangguan rongga mulut dengan saluran napas pada perokok telah lama diketahui. Merokok menyebabkan peningkatan sitokin inflamasi pada mukosa mulut dan mukosa saluran napas. Perokok memiliki kemungkinan 20 kali berisiko penyakit periodontal dan obstruksi saluran napas. Inovasi ini mengembangkan prototipe yang dapat memvisualisasikan mukosa mulut perokok untuk mengidentifikasi dugaan Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK). Tahap awal dengan mengumpulkan data berbagai jenis lesi mukosa mulut perokok, seperti *leukoplakia*, *nicotinic stomatitis*, *black hairy tongue*, *oral squamous cell carcinoma*, dan *smoker's melanosis* dari *database online* dan rekam medis pasien. Selanjutnya data dibagi menjadi *dataset* pelatihan, validasi, dan pengujian, kerangka kerja *PyTorch* dan pustaka *UltraLytics* digunakan untuk menciptakan model lesi mukosa yang akan diidentifikasi. Inovasi ini telah berhasil merancang sebuah prototipe untuk mendeteksi dugaan PPOK, rancangan terdiri dari *Liquid Crystal Display* (LCD), endoskop yang dilengkapi penerangan, *power supply*, dan terintegrasi *Internet of Things* (IoT). Hasil uji presisi alat menunjukkan tingkat akurasi sebagai berikut: *black hairy tongue* (99.5%), *leukoplakia* (54.4%), *smoker's melanosis* (43%), *oral squamous cell carcinoma* (42.4%), dan *nicotinic stomatitis* (34%). Uji diagnostik alat pada 60 perokok menunjukkan mayoritas berusia 21-30 tahun (63%), memiliki riwayat merokok selama 5-10 tahun (86%), dan riwayat PPOK (40%). Hasil uji diagnostik menunjukkan nilai sensitivitas 84%, spesifisitas 57.14%, dan *Area Under Curve* 0.79. Oleh karenanya, alat ini mampu mendeteksi lesi mukosa mulut sebagai dugaan PPOK yang berbasis kecerdasan buatan dan terintegrasi dengan IoT. Prototipe layak digunakan sebagai alat skrining dugaan PPOK dan dapat digunakan untuk menekan laju angka kejadian serta menurunkan angka kematian karena PPOK di Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) merupakan kelainan saluran napas kronik di paru yang dapat terjadi karena paparan asap rokok sehingga menimbulkan inflamasi kronis di saluran napas dan kerusakan dinding alveoli paru

(Celli et al. 2022). *World Health Organization* (WHO) menyebutkan bahwa PPOK menjadi penyebab kematian ketiga di dunia (*World Health Organization* 2022). Di Indonesia, diperkirakan terdapat 4,8 juta pasien PPOK, angka ini dapat terus meningkat seiring dengan semakin banyaknya jumlah perokok, mengingat bahwa 90% pasien PPOK adalah perokok. Hubungan antara rokok dan PPOK merupakan hubungan *dose response* yaitu semakin banyak dan semakin lama batang rokok yang dihisap maka risiko PPOK yang ditimbulkan semakin besar.

Sebuah studi epidemiologi menunjukkan hubungan sinergis antara kelainan di rongga mulut dengan PPOK. Merokok memiliki risiko 5 hingga 20 kali terjadinya PPOK dan penyakit periodontal. Merokok juga berhubungan erat dengan peningkatan kadar *Tumor Necrosis Factor- α* (TNF- α) dari cairan mukosa rongga mulut dibandingkan dengan bukan perokok. Aktivitas *elastase neutrophil*, *prostaglandin E2* (PGE2) dan *Matrix metalloproteinase-8* (MMP8) juga ditemukan meningkat pada perokok (Mishra and Mishra 2013). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penanda inflamasi tersebut juga ditemukan meningkat di jaringan paru pada PPOK. Respon peradangan pada PPOK didominasi oleh neutrofil dan TNF- α yang dibutuhkan untuk perekrutan neutrophil. *Matrix metalloproteinase* merusak komponen matriks ekstraseluler yang mengubah keseimbangan antara MMP dan inhibitornya serta berperan penting dalam mengubah struktur saluran napas. Merokok berhubungan erat dengan kelainan lesi di mukosa mulut seperti *leukoplakia*, *smoker's melanosis*, *frictional hiperkeratosis*, *nicotinic stomatitis*, *black hairy tongue*, dan *squamous cell carcinoma* (Ji et al. 1998). Terdapat sejumlah penelitian yang menunjukkan hubungan antara status kesehatan mulut dan PPOK berdasarkan survei Pemeriksaan Kesehatan dan Gizi Nasional, status periodontal yang buruk paling banyak ditemukan pada PPOK, jumlah gigi yang hilang dan akar gigi yang rapuh lebih banyak ditemukan pada pasien PPOK daripada tanpa PPOK (Behura et al. 2015).

PPOK adalah penyakit yang tidak dapat diobati, tetapi dapat dicegah dan dikendalikan. Namun sayangnya, penderita PPOK sering kali terlambat diagnosis karena pasien PPOK cenderung mulai berobat ketika sudah mencapai stadium akhir (Kostikas et al. 2020). Keterlambatan deteksi, diagnosis, dan pengobatan PPOK menyebabkan kondisi pasien yang terlanjur parah sehingga menyebabkan angka morbiditas dan mortalitas terus meningkat. Oleh karena itu, penilaian lesi mukosa rongga mulut dapat memberikan informasi penting yang berguna untuk dugaan dini PPOK pada perokok.

Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi modern seperti *Artificial Intelligent* (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Computer vision* mampu menciptakan berbagai solusi dalam mendeteksi penyakit, menentukan diagnosis, dan menatalaksana pasien (Adani and Sabil 2019). *Computer vision* merupakan suatu teknologi yang mampu melihat dan mengenali objek yang ada di sekitarnya layaknya manusia dengan menggunakan bantuan kamera dan *Artificial Intelligence*. Sehingga, *computer vision* dapat menganalisis informasi visual mukosa rongga mulut sebagai kecurigaan awal PPOK.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Perancangan *Hardware*

Perangkat keras berperan penting dalam proses menangkap gambar lesi di rongga mulut, serta dalam pengolahan data menggunakan *machine learning* dan pengiriman gambar tersebut ke *cloud*. Komponen utama dari perangkat keras ini meliputi endoskop, yang digunakan untuk mengambil gambar lesi, dan NVIDIA *Jetson Nano* sebagai unit pemrosesan yang melakukan analisis data. Selain itu, sumber daya listrik diperlukan untuk

menyediakan pasokan daya, sedangkan adapter *WiFi TP-Link* berfungsi untuk menghubungkan perangkat ke jaringan nirkabel. Layar *Liquid Cristal Display (LCD)* juga digunakan untuk menampilkan video atau gambar yang diambil dari endoskop.

Dalam upaya mendeteksi dini Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), prosesor akan menerima gambar dari endoskop. Selanjutnya, gambar-gambar ini akan diproses menggunakan model visi komputer yang telah diinstal sebelumnya dalam sistem prosesor. Hasil dari pemrosesan ini akan ditampilkan secara langsung pada layar LCD, memberikan informasi penting mengenai kondisi lesi yang ada.

Penggunaan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam mendiagnosis penyakit, tetapi juga memungkinkan deteksi dini yang sangat krusial dalam pengelolaan kesehatan pasien. Dengan sistem yang terintegrasi ini, data yang dihasilkan dapat diolah secara *real-time*, sehingga tenaga medis dapat segera mendapatkan informasi yang diperlukan untuk mengambil tindakan lebih lanjut.

Secara keseluruhan, sistem ini menggabungkan berbagai elemen teknologi untuk menciptakan alat yang efektif dalam memantau dan mendiagnosis kondisi rongga mulut. Dengan kemampuan untuk menangkap, memproses, dan mengirimkan data secara nirkabel, perangkat keras ini memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas layanan kesehatan dan memberikan solusi yang lebih cepat dalam penanganan masalah kesehatan. Dengan demikian, pengembangan alat ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi pasien dan tenaga medis.

2.2 Perancangan Software

Proses diagnosis dini Penyakit Paru Obstruksi Kronis (PPOK) menggunakan teknologi *deep learning* dan *dataset* yang berisi berbagai lesi, termasuk *leukoplakia*, *nicotinic stomatitis*, *black hairy tongue*, kanker oral, dan *smoker melanosis*, yang diambil dari internet. *Dataset* tersebut dibagi menjadi tiga bagian: 80% untuk *training set*, 10% untuk *validation set*, dan 10% untuk *testing set*. Augmentasi data diterapkan pada *training set* untuk meningkatkan variasi dan jumlah data.

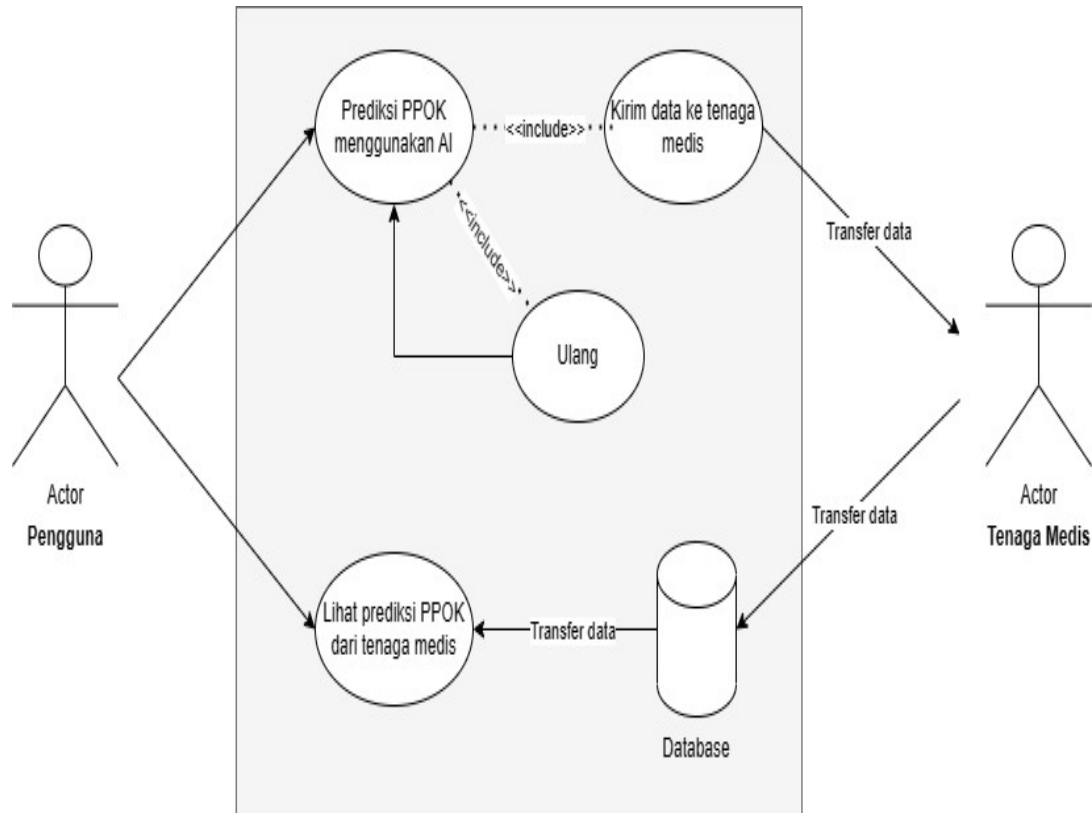
Diagnosis dilakukan dengan mendeteksi lesi yang terkait dengan PPOK menggunakan metode *Single-Stage Object Detector*, khususnya dengan arsitektur *Yolov8*, yang diimplementasikan menggunakan *framework PyTorch* dan *library UltraLytics*. Arsitektur *Yolov8* memiliki struktur yang terdiri dari *Backbone*, *Neck*, dan *Head*, yang dioptimalkan untuk deteksi objek.

Pada tahap *training*, augmentasi data dilakukan dengan berbagai teknik, seperti *flip* (horizontal dan vertikal), rotasi, *crop*, *shear*, serta penyesuaian *hue*, saturasi, kecerahan, dan blur. *Pre-processing* juga dilakukan dengan mengubah ukuran gambar ke ukuran 640x640 piksel.

Hyperparameter yang digunakan dalam proses *training* mencakup 150 *epoch*, *batch size* 15, serta penggunaan *optimizer AdamW* dan *SGD* tergantung pada jumlah iterasi. *Learning rate* ditetapkan pada 0.01, dengan momentum 0.937 dan *weight decay* 0.0005. *Warmup epochs* juga diterapkan untuk mempersiapkan model sebelum *training*.

Evaluasi hasil *training* dilakukan dengan metrik *mAP50-95* untuk menentukan akurasi model. Setelah proses

training selesai, model yang telah dilatih disimpan dalam format *file.pth* dan diintegrasikan ke dalam *Jetson Nano Devkit board* untuk inferensi. Proses inferensi memanfaatkan *Graphics Processing Unit (GPU)* yang ada di *Jetson Nano*, dan pengguna dapat memerintahkan inferensi melalui aplikasi dengan nama *Emerald*. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu mendukung diagnosis PPOK secara lebih cepat dan akurat. Berikut diagram alur operasional penggunaan EMERALD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Operasional Penggunaan EMERALD (Sumber: Dokumen Pribadi)

2.3 Perancangan Alat Secara Keseluruhan

Proses pengembangan sistem ini dimulai dengan fokus pada perangkat keras yang berperan penting dalam menangkap gambar lesi di rongga mulut. Alat utama dalam sistem adalah endoskop, yang digunakan untuk mengambil gambar lesi, dan *NVIDIA Jetson Nano* sebagai unit pemrosesan yang bertanggung jawab untuk menganalisis data yang diperoleh dari endoskop. Perangkat keras ini juga mencakup sumber daya listrik untuk memastikan pasokan daya yang stabil, adapter *WiFi TP-Link* untuk memberikan konektivitas jaringan nirkabel, serta layar *LCD* yang berfungsi untuk menampilkan video atau gambar yang diambil dari endoskop.

Setelah perangkat keras siap, tahap berikutnya adalah perancangan perangkat lunak. Pada tahap ini, langkah pertama adalah memilih model *computer vision* yang tepat untuk sistem pengenalan mukosa endoskopi. Proses ini mencakup pelatihan data menggunakan algoritma *deep learning* yang populer, seperti *CNN*, *ResNet*, atau *YOLO*. Setelah pemilihan model, *dataset* yang digunakan harus distandarisasi dengan melakukan perubahan ukuran gambar dan *preprocessing* untuk memastikan konsistensi data yang akan dianalisis. Perangkat lunak yang sudah dilakukan pelatihan kemudian ditanamkan kedalam perangkat keras.

Integrasi Internet of Things (IoT) juga menjadi bagian penting dari sistem ini. Infrastruktur *cloud* dirancang untuk mengelola alur data yang dikirimkan dari prosesor ke *database* dan platform komunikasi seperti Telegram. Data yang dihasilkan dari proses analisis akan disimpan di *Firestore* dan kemudian diteruskan ke Telegram, memudahkan tenaga medis dalam mengakses informasi yang diperlukan dan meningkatkan komunikasi antara pasien dan profesional kesehatan.

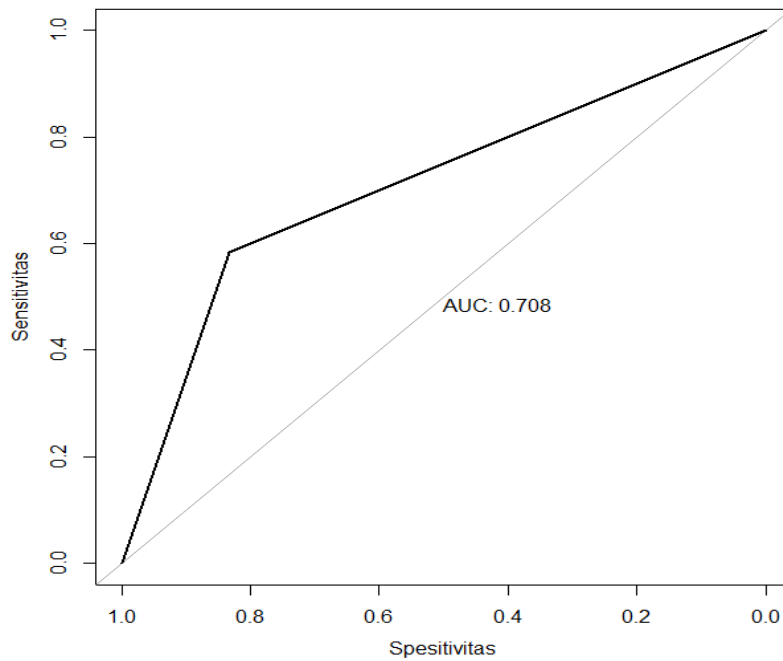
Setelah gambar lesi diambil, prosesor akan menerima data tersebut dan memprosesnya menggunakan model visi komputeryang telah diprogram sebelumnya. Hasil dari pemrosesan ini akan langsung ditampilkan pada layar LCD, memberikan informasi penting tentang kondisi lesi yang terdeteksi. Dengan sistem yang terintegrasi ini, deteksi dini terhadap Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) menjadi lebih efisien, sehingga memungkinkan tenaga medis untuk segera mengambil langkah yang diperlukan. Perangkat *hardware* dan *software* yang telah dirancang secara keseluruhan dengan nama *Endoscopic Oral Mucosal Recognition Smoker Lung Damage (EMERALD)* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alat detektor yang telah dirancang (Sumber: Dokumen Pribadi)

III. HASIL /TEMUAN

Endoscopic Oral Mucosal Recognition Smoker Lung Damage (EMERALD) merupakan detektor dugaan PPOK dengan integrasi IoT, telah terbukti efektif sebagai alat skrining PPOK. Pada Gambar 3 menunjukkan model pengenalan mukosa dalam EMERALD dibangun menggunakan arsitektur YoLo, dengan dataset berisi 526 data yang dibagi menjadi 80% untuk pelatihan dan 20% untuk pengujian. Hasil analisis model menunjukkan presisi sebesar 67.8% dan sensitivitas 45.5%. Sementara itu, pengujian langsung pada perokok menunjukkan sensitivitas 84% dan spesifisitas 57,14%, dengan nilai AUC mencapai 0.7901 berdasarkan pengujian pada 60 lesi mulut.



Gambar 3. Grafik Receiver Operating Curve (ROC)

Deteksi PPOK menggunakan EMERALD dilakukan dengan menganalisis berbagai jenis lesi mukosa mulut, seperti *black hairy tongue*, *leukoplakia*, *smoker's melanosis*, *nicotinic stomatitis*, dan *oral squamous cell carcinoma*. Pada Gambar 4 menunjukkan cara menggunakan kamera endoskop untuk mendeteksi mukosa mulut perokok, kamera endoskop akan menangkap lesi mukosa mulut yang dicurigai sebagai lesi awal PPOK, gambar yang ditangkap selanjutnya akan di analisis oleh aplikasi EMERALD yang berbasis *deep learning*. Jika analisis menunjukkan adanya lesi khas perokok, EMERALD akan mengindikasikan kemungkinan PPOK pada pasien.



Gambar 4. Luaran utama dan uji coba prototipe fungsional pada pasien (Sumber: Dokumen Pribadi)

EMERALD telah memperoleh izin etik dengan nomor 164/ETIK-RSUDZA/2023 untuk pengambilan data dan uji coba alat, serta memiliki buku petunjuk operasional. Alat ini juga telah terdaftar sebagai Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dengan nomor EC00202371415. Tim PKM-KC telah mempresentasikan EMERALD di konferensi internasional Aceh Surgical Update Meeting (ASUM) 2023 dan meraih juara 2. Selain itu, EMERALD telah disubmit ke Jurnal Respirologi Indonesia (JRI) yang terakreditasi SINTA 2, serta dipromosikan secara aktif di media sosial dan koran lokal.

Ke depan, EMERALD berencana untuk meningkatkan aspek *User Interface* (UI) dan *User Experience* (UX) agar lebih nyaman digunakan oleh pasien. Pengumpulan *dataset* tambahan juga diperlukan untuk meningkatkan akurasi alat, serta pengujian pada sampel yang lebih besar akan dilakukan untuk meningkatkan hasil diagnostik sebagai alat skrining awal untuk PPOK.

IV. KESIMPULAN

Inovasi ini telah berhasil menciptakan prototipe deteksi lesi mukosa mulut sebagai dugaan PPOK dengan menerapkan *computer vision* berbasis kecerdasan buatan yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Alat ini memiliki nilai diagnostik yang sangat baik sehingga layak digunakan sebagai alat skrining dugaan PPOK terutama di kelompok populasi berisiko dan di masyarakat umum. Alat ini diharapkan nantinya dapat dijadikan sebagai skrining awal dugaan PPOK sehingga dapat menekan laju angka kejadian PPOK dan menurunkan angka kematian karena PPOK di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, F. and Sabil, S. (2019). View of Internet of Things Sejarah Teknologi dan Penerapannya. , 2019, pp.92–99.
- Behura, S.S., Masthan, M.K. and Narayanasamy, A.B. (2015). Oral mucosal lesions associated with smokers and chewers – A case-control study in chennai population. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(7), pp.17–22.
- Celli, B., Fabbri, L., Criner, G., Martinez, F.J., Mannino, D., Vogelmeier, C., Montes de Oca, M., Papi, A., Sin, D.D., Han, M.K. and Agusti, A. (2022). Definition and Nomenclature of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Time for Its Revision. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 206(11), pp.1317–1325.
- Ji., et al (1998). Cigarette Smoking and Oral Lesions Other than Cancer. *Clinics in dermatology*, 16 (5), pp.625–631.
- Kostikas, K., Price, D., Gutzwiller, F.S., Jones, B., Loeffroth, E., Clemens, A., Fogel, R., Jones, R. and Cao, H. (2020). Clinical Impact and Healthcare Resource Utilization Associated with Early versus Late COPD Diagnosis in Patients from UK CPRD Database. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, Volume 15, pp.1729–1738.
- Mishra, S. and Mishra, M. (2013). Tobacco: Its historical, cultural, oral, and periodontal health association. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 3(1), p.12.
- World Health Organization. (2022). *Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)*. , p.1.

GAMIFIKASI SEBAGAI ALAT PELESTARIAN BUDAYA: STUDI INOVASI PADA PEMBELAJARAN TARI RANUP LAMPUAN

Cut Zuriana¹, Nurrahmah²

¹Program Studi Pendidikan Sendratasik, FKIP, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Bahasa Indonesia, FKIP, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: cutzuriana@usk.ac.id

RINGKASAN

Tari Ranup Lampuan merupakan salah satu warisan budaya Aceh yang sarat dengan nilai sejarah dan tradisi, khususnya dalam menyambut tamu. Setiap gerakannya mengandung simbol-simbol hubungan antar-manusia, hubungan dengan alam, serta penghargaan terhadap budaya dan adat Aceh. Namun, kemajuan teknologi dan masuknya budaya modern menyebabkan generasi muda kurang terlibat dalam upaya pelestarian budaya tradisional seperti Tari Ranup Lampuan, sehingga warisan budaya ini terancam keberlangsungannya. Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini mengkaji penggunaan gamifikasi dalam pembelajaran tari sebagai solusi yang efektif untuk meningkatkan keterlibatan generasi muda. Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis gamifikasi dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan, untuk mengeksplorasi inovasi pelestarian budaya. Elemen gamifikasi yang diterapkan meliputi poin, leaderboard (papan peringkat), tantangan bertahap (level up), dan penghargaan. Elemen-elemen gamifikasi ini dirancang agar mahasiswa dapat menguasai gerakan tari dan memahami nilai budaya dalam Tari Ranup Lampuan secara bertahap dan menyeluruh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan gamifikasi berdampak positif terhadap motivasi dan pemahaman mahasiswa dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan. Penggunaan *leaderboard* terbukti menciptakan kompetisi sehat yang mendorong mahasiswa untuk meningkatkan kemampuan mereka dalam menguasai gerakan tari dengan lebih cepat dan akurat. *Sistem poin* sebagai umpan balik langsung memberi dorongan bagi mahasiswa untuk lebih aktif, sedangkan tantangan bertahap memberikan pengalaman belajar yang menarik dan mendalam. Selain itu, sistem *level up* dan visualisasi gerakan tari melalui video atau animasi membantu mahasiswa memahami setiap gerakan secara bertahap, mulai dari gerakan dasar hingga yang lebih kompleks. Penerapan gamifikasi dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan efektif dalam meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman mahasiswa terhadap gerakan serta makna budaya dalam tarian tersebut. Pendekatan ini membuktikan bahwa gamifikasi dapat berfungsi sebagai inovasi pendidikan yang mendukung pelestarian budaya tradisional, khususnya dalam menghadapi tantangan globalisasi yang memengaruhi minat generasi muda terhadap seni budaya daerah.

I. PENDAHULUAN

Tari Ranup Lampuan adalah salah satu warisan budaya Aceh yang kaya akan nilai sejarah dan tradisi. Selain menjadi simbol kebanggaan, Tari Ranup Lampuan juga mengandung nilai-nilai budaya yang penting dalam masyarakat Aceh, khususnya dalam konteks penyambutan tamu. Nilai-nilai budaya ini mencakup berbagai aspek, seperti hubungan manusia dengan manusia, hubungan manusia dengan alam, hubungan manusia dengan nilai sosial dan kemuliaan, serta hubungan dengan kebiasaan dan sifat-sifat yang dijunjung tinggi oleh masyarakat Aceh (Nur et al., 2023).

Nilai-nilai budaya dalam Tari Ranup Lampuan tercermin melalui gerak-gerak tari yang penuh makna simbolik. Setiap gerakan dalam tarian ini bukan sekadar seni estetika, melainkan juga merupakan representasi dari nilai-nilai luhur yang dijunjung tinggi oleh masyarakat Aceh. Misalnya, gerak mengayunkan *puan* berisi *ranup* ke kiri dan kanan yang dilakukan oleh putri (primadona) saja dan melangkah ke depan sebagai simbol iringan langkah kemuliaan, dengan *puan* yang berisi *ranup* yang dilengkapi dengan kapur, gambir, pinang dan cengkeh sebagai bumbu khas *ranup* di Aceh (Leony, 2011). Gerakan ini mengungkapkan hubungan manusia dengan manusia, keramahan dan penghormatan terhadap tamu menjadi nilai utama.

Seiring dengan perkembangan zaman dan globalisasi, tantangan dalam pelestarian budaya tradisional semakin nyata. Generasi muda, yang lebih terpapar oleh budaya modern dan teknologi, cenderung kurang tertarik dan terlibat dalam praktik budaya tradisional (Muslihin et al., 2021; Triwardani & Rochayanti, 2014). Hal ini berpotensi menyebabkan penurunan minat dan pengetahuan tentang seni tradisional seperti Tari Ranup Lampuan. Oleh karena itu, teknologi dan inovasi menjadi alat penting untuk mengatasi tantangan tersebut.

Gamifikasi, yang merujuk pada penerapan elemen-elemen permainan dalam konteks non-permainan, telah menunjukkan potensi yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan dan pelestarian budaya (Komariyah et al., 2024; Valentinna et al., 2024). Dengan mengintegrasikan mekanisme permainan, seperti sistem poin, tantangan, *leaderboard*, *level up*, serta penghargaan, gamifikasi dapat meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar, khususnya di kalangan generasi muda (Yuliasih et al., 2023). Dalam penelitian ini, beberapa elemen gamifikasi digunakan untuk pembelajaran Tari Ranup Lampuan. Pertama, sistem poin dan *leaderboard* dirancang untuk mendorong persaingan sehat di antara mahasiswa (Maulana et al., 2024; Paso et al., 2023), dengan memberi penghargaan kepada mereka yang dapat menguasai gerakan tari dengan baik dan cepat. Kedua, *level up* digunakan untuk menandai kemajuan peserta (Nugroho et al., 2019), memberikan tantangan yang lebih kompleks seiring dengan peningkatan kemampuan mereka. Ketiga, reward atau penghargaan, seperti sertifikat diberikan untuk memotivasi peserta dalam menyelesaikan setiap tahapan pembelajaran.

Penerapan gamifikasi dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan ini bertujuan untuk membuat proses belajar menjadi lebih interaktif dan menyenangkan. Melalui pendekatan ini, para mahasiswa dapat lebih mudah memahami dan menghargai kompleksitas gerakan tari serta makna budaya di baliknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana elemen-elemen gamifikasi tersebut diterapkan dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan dan menilai efektivitasnya sebagai alat pelestarian budaya. Dengan menganalisis penerapan elemen permainan dalam konteks pembelajaran tari, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang cara inovatif untuk melestarikan dan mempromosikan warisan budaya tradisional di era digital.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Gamifikasi

Gamifikasi adalah konsep yang mengacu pada penerapan elemen-elemen permainan dalam konteks non-permainan untuk meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan pembelajaran. Seiring dengan perkembangan teknologi dan digitalisasi, gamifikasi telah menjadi salah satu pendekatan inovatif yang digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan. Teori gamifikasi didasarkan pada prinsip-prinsip psikologi yang berkaitan dengan motivasi manusia, seperti teori motivasi intrinsik dan ekstrinsik, serta teori pembelajaran.

Menurut Srimuliyani (2023) gamifikasi didefinisikan sebagai penggunaan elemen-elemen permainan dalam konteks non-permainan. Elemen-elemen ini meliputi poin, *badge*, *leaderboard*, tantangan, level, serta hadiah, yang dirancang untuk meningkatkan partisipasi dan motivasi pengguna. Dalam konteks pendidikan, gamifikasi telah terbukti efektif dalam meningkatkan motivasi belajar siswa, memperkuat keterlibatan, dan memperbaiki hasil belajar (Sriwahyuni et al., 2023; Yaniaja et al., 2020).

Penerapan gamifikasi dalam pendidikan telah menunjukkan hasil yang positif dalam berbagai penelitian. Valentina et al., (2024) menyatakan bahwa gamifikasi dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa, memperbaiki daya ingat, dan menciptakan lingkungan belajar yang lebih dinamis. Selain itu, gamifikasi juga dapat membantu mengurangi kecemasan belajar dengan membuat proses pembelajaran lebih menyenangkan dan kurang membebani (Muhammad Rusli et al., 2020).

Dalam pembelajaran budaya dan seni, gamifikasi membantu mahasiswa untuk belajar dengan cara yang lebih interaktif dan kontekstual. Misalnya, dalam pembelajaran Tari Ranup Lampuan, elemen-elemen gamifikasi seperti poin, *leaderboard*, dan *badge* dapat digunakan untuk mendorong siswa memahami gerakan tari dan makna budaya di baliknya secara lebih mendalam. Gamifikasi juga dapat membantu menjaga minat siswa pada materi yang mungkin dianggap sulit atau kurang menarik, dengan menyediakan umpan balik langsung dan penghargaan yang dapat memotivasi mereka untuk terus belajar.

2.2 Tari Ranup Lampuan

Secara historis tari *ranup lampuan* diciptakan untuk dipersembahkan kepada tamu-tamu besar atau tamu yang dimuliakan. Tari ini merupakan “tari persembahan resmi masyarakat Aceh” untuk menyambut tamu yang dimuliakan. Tari yang diciptakan oleh Yusrizal dan irama lagunya oleh Manua ini merupakan tari yang mempunyai gerak sangat lemah lembut dan santun sebagai lambang penghormatan kepada para tamu. Tari tersebut biasanya dipersembahkan kepada tamu-tamu negara, pejabat yang berkunjung secara resmi ke Aceh serta juga dipersembahkan dalam pembukaan acara-acara adat dalam masyarakat Aceh.

Berkaitan dengan nama, tari tersebut memiliki nilai adat kebiasaan yang sangat kental dalam masyarakat Aceh. Kebiasaan yang sangat kental itu adalah menyungguhkan sirih (*ranup*) kepada tamu. Hal ini mencerminkan kemuliaan akan tamu yang disambutnya. *Ranup* yang disungguhkan biasanya diletakkan dalam cerana/*puan*. Sehubungan dengan itu, maka *ranup* yang diletakkan dalam *puan*, maka tari itu dinamakan tari *ranup lampuan* (Leony, 2011).

Kemuliaan akan tamu dalam masyarakat Aceh tidak ada bandingnya selain dengan menyungguhkan *ranup* kepada tamu. *Ranup* melambangkan makna kemuliaan yang sangat dalam bagi masyarakat Aceh. *Ranup* dipandang sebagai obat segala obat yang dapat menyembuhkan segala penyakit. Oleh karena itu, sebagai lambang kemuliaan dalam masyarakat Aceh adalah menyungguhkan *ranup* kepada tamu, dalam hal ini dikemas dalam bentuk tarian (Agustina, 2018) Tarian tersebut lebih mencerminkan kemuliaan dalam masyarakat Aceh karena *ranup* yang disungguhkan dalam masyarakat Aceh diletakkan dalam *puan* (Futuh, 2023; Riezal et al., 2018). Dalam masyarakat Aceh *puan* merupakan sebuah tempat/benda budaya yang mengandung nilai-nilai kemuliaan. Dengan demikian, lengkaplah akan lambang kemuliaan apabila benda *ranup* yang mulia diletakkan dalam tempat yang mulia pula. Dalam masyarakat Aceh, cara yang sangat mulia untuk menyambut tamu adalah menyungguhkan *ranup*.

2.3 Gerak Tari Ranup Lampuan

Tari *ranup lampuan* telah mempunyai ragam gerak yang baku (standar). Oleh karena itu, tari tersebut harus ditarikan dengan gerakan yang standar pula. Standar gerakan harus berdasarkan gerakan yang telah ditetapkan. Berdasarkan standar gerakan yang ditetapkan, dalam penelitian yang dilakukan pada mahasiswa Sendratasik FKIP Unsyiah ditemukan gerakan yang berbeda dengan ragam gerak standar dan tidak maksimal. Hasil penelitian pada mahasiswa Sendratasik FKIP Unsyiah dapat diperhatikan pada tabel berikut.

2.4 Proses Pembuatan Membran Kitosan/Pati Janeng

Proses pembuatan membran FO dari kitosan dan pati *janeng* melibatkan beberapa tahap. Pertama, kitosan dilarutkan dalam asam asetat untuk membentuk larutan kitosan, sementara pati *janeng* disiapkan melalui proses gelatinisasi untuk membentuk pasta pati yang homogen. Larutan kitosan kemudian dicampur dengan pasta pati pada suhu tertentu untuk memastikan pencampuran yang merata. Glutaraldehid ditambahkan sebagai agen penghubung silang untuk meningkatkan stabilitas mekanik membran, sementara gliserol ditambahkan sebagai *plastisizer* untuk mengatasi sifat kekakuan dari kitosan. Campuran ini kemudian dicetak dan dikeringkan untuk membentuk lembaran membran, yang kemudian dicuci untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia dan dikeringkan sebelum digunakan dalam aplikasi FO.

2.5 Desain dan Aplikasi Kantong Air Minum FO

Membran kitosan/pati Janeng yang telah disiapkan kemudian diaplikasikan dalam pembuatan kantong air minum. Kantong ini dirancang menggunakan tiga lapisan utama yakni plastik *polipropilena* (PP) sebagai lapisan luar, aluminium *foil* sebagai lapisan dalam, dan membran FO di bagian tengah. Kantong ini dirancang agar mudah digunakan dalam situasi darurat, dengan kapasitas total sekitar 400 ml dan luas permukaan efektif membran sebesar 41,25 cm². Desain ini memastikan bahwa kantong air minum dapat digunakan secara praktis dan efisien, dengan hasil air yang memenuhi standar kualitas WHO.

Ragam Gerak

Makna Ragam Gerak

Ragam gerak I

Gerak yakni dengan mengacungkan ke hadapan primadona tamu yang disambut)

Makna ragam gerak I

Ragam tersebut mengandung sebagai penghormatan primadona atau tamu yang Penghormatan itu terlihat pada gerakan merupakan sebuah simbol dalam masyarakat Aceh

Ragam gerak II

Gerak mengayunkan *puan* berisi *ranup* ke kiri dan kanan. Dilakukan oleh putri (primadona) saja dan melangkah ke depan

Makna ragam gerak II

Sebagai simbol iringan langkah kemuliaan, dengan *puan* yang berisi *ranup* yang dilengkapi dengan kapur, gambir, pinang dan cengkeh sebagai bumbu khas *ranup* di Aceh.

Ragam gerak III

Gerak mengayunkan kedua tangan ke depan dan ke belakang, dengan sikap menolak yang tidak baik, menerima yang baik, dilakukan maju kaki kanan lalu mundur kaki kiri, juga dilakukan ke samping kanan dan ke samping kiri

Makna ragam gerak III

Mengandung makna rakyat Aceh sangat senang menerima persahabatan dan dengan tegas menolak segala bentuk permusuhan.

Ragam gerak IV

Gerak tangan ke depan lalu diikuti, tangan kanan dibawa ke belakang dengan sikap telapak tangan terbuka ke bawah, kemudian tangan kiri ke belakang, dilakukan secara bergantian dengan sikap kaki jalan di tempat, pada saat tangan kanan ke depan diikuti, tangan kiri dan tangan kanan tetap terbuka di hadapan penonton.

Makna ragam gerak IV

Mengambil semua yang baik dan membuang semua yang tidak baik

Ragam gerak V

Gerak tangan memetik sirih (*Ranup*) dan mengancip pinang

Makna ragam gerak V

Mengandung makna, masyarakat Aceh kerap bekerja sama dan bergotong-royong. Simbolis kerja sama ini terlihat pada penari yang sebagian memetik sirih (4 penari) dan sebagian (3 penari) di depan mengancip/membuat ramuan untuk mempersiapkan sirih (*ranup*) siap saji.

Ragam gerak VI

Gerak membuat sirih (*ranup*) yakni dimlai dengan membuang tampuk/tangkainya, memberi kapur, dan ramuan lainnya hingga selesai.

Makna ragam gerak VI

Mengandung makna ketertiban adat dalam masyarakat hal ini tercermin pada pengaturan dan peramu sirih secara beruntun dari awal hingga akhir dengan tertib dan sopan.

Ragam gerak VII

Penari dengan memegang puan secara berderet membentuk sebuah barisan

Makna ragam gerak VII

Mengandung makna penyambut akan mempersembahkan sirih dipersiapkannya secara tertib

Ragam gerak VIII

Penari membentuk barisan yang membentuk lorong, kemudian primadona maju dan diikuti oleh semua penari lain

Makna ragam gerak VIII

Mengandung makna, tuan menyambut tamu di depan pintu

Ragam gerak IX

Penari merendahkan puan dan membuat ayunan puan ke kanan dan ke kiri dan diangkat ke atas lalu diturunkan kembali

Makna Ragam gerak IX

Mengandung makna mempersilahkan tamu masuk ke dalam.

III. HASIL /TEMUAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan gamifikasi dalam pembelajaran Tari Ranup Lampung memiliki dampak positif terhadap keterlibatan dan motivasi mahasiswa. Melalui penggunaan elemen-elemen gamifikasi seperti poin, leaderboard, badge, tantangan, dan level, mahasiswa menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam memahami gerakan tari, makna budaya, dan nilai-nilai yang terkandung dalam Tari Ranup Lampung. Peningkatan yang ditunjukkan oleh para mahasiswa terdiri atas motivasi dan pemahaman materi.

3.1 Peningkatan Motivasi dan Keterlibatan Mahasiswa

Penerapan gamifikasi terbukti efektif dalam meningkatkan motivasi dan keterlibatan mahasiswa. Hal ini juga diungkapkan oleh (Srimuliyani, 2023) bahwa gamifikasi dapat meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Berdasarkan hasil analisis terhadap penerapan gamifikasi dalam pembelajaran tari ranup lampuan ditemukan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan motivasi adalah sebagai berikut.

1. Kompetisi Sehat Melalui Leaderboard

Salah satu faktor utama yang meningkatkan motivasi adalah penerapan sistem *leaderboard*, yang secara efektif menciptakan kompetisi sehat di antara mahasiswa. Temuan ini memperkuat temuan penelitian sebelumnya yang juga mengungkapkan bahwa sistem *leaderboard* dapat meningkatkan motivasi belajar mahasiswa (Rahardja et al., 2018). Dengan adanya *leaderboard*, mahasiswa dapat melihat peringkatnya masing-masing dibandingkan dengan teman-teman sekelas, yang mendorong para mahasiswa untuk berlatih lebih giat dan mencoba meningkatkan peringkat mereka.

Kompetisi ini tidak hanya berfokus pada kecepatan dan ketepatan gerakan tari, tetapi juga pada pemahaman mahasiswa terhadap nilai-nilai budaya yang terkandung dalam tarian. Beberapa mahasiswa mengakui bahwa mereka merasa lebih termotivasi ketika melihat peningkatan peringkat mereka di *leaderboard*, yang juga mendorong mereka untuk terus memperbaiki kemampuan masing-masing.

2. Penggunaan Poin sebagai Umpan Balik Langsung

Sistem poin yang digunakan dalam gamifikasi juga berperan penting dalam meningkatkan motivasi. Setiap kali mahasiswa menyelesaikan tugas atau tantangan, mereka langsung mendapatkan poin yang memberikan umpan balik positif. Umpan balik langsung ini sangat efektif dalam mendorong mahasiswa untuk terus berpartisipasi aktif (Sitorus, 2016) karena mereka dapat melihat hasil kerja keras mereka dengan cepat. Selain itu, poin yang diperoleh dapat ditukar dengan berbagai penghargaan, seperti badge, yang semakin memotivasi mahasiswa untuk mencapai target yang lebih tinggi

3. Tantangan Bertahap yang Menarik

Gamifikasi juga melibatkan tantangan bertahap yang disesuaikan dengan tingkat kemampuan mahasiswa. Dalam penelitian ini, tantangan dirancang seiring dengan kemajuan mahasiswa. Mahasiswa yang berhasil menyelesaikan tantangan awal akan merasa termotivasi untuk melanjutkan ke tantangan berikutnya yang lebih sulit. Pendekatan bertahap ini tidak hanya membuat pembelajaran menjadi lebih menarik, tetapi juga membantu mahasiswa untuk membangun kepercayaan diri secara bertahap. Selain itu, tantangan yang dirancang dengan elemen-elemen cerita atau narasi (storytelling) memberikan konteks budaya yang lebih kaya, sehingga mahasiswa merasa lebih terhubung dengan materi yang dipelajari

4. Keterlibatan Emosional

Selain motivasi yang didorong oleh elemen-elemen kompetisi dan penghargaan, penelitian ini juga menemukan bahwa gamifikasi meningkatkan keterlibatan emosional mahasiswa. Mereka merasa lebih terlibat secara emosional ketika belajar melalui pendekatan gamifikasi karena metode ini membuat proses belajar menjadi lebih menyenangkan dan interaktif. Keterlibatan emosional ini penting karena dapat mempengaruhi sikap dan persepsi mahasiswa terhadap materi yang dipelajari, sehingga mereka lebih menghargai dan meresapi nilai-nilai budaya yang terkandung dalam Tari Ranup Lampung.

5. Tantangan dan Kompetisi sebagai Pemicu Motivasi Ekstrinsik dan Intrinsik

Meskipun elemen-elemen gamifikasi seperti poin dan leaderboard lebih banyak terkait dengan motivasi ekstrinsik, penelitian ini juga menemukan bahwa elemen-elemen tersebut secara tidak langsung mendorong motivasi intrinsik mahasiswa. Ketika mahasiswa merasa berhasil dalam menyelesaikan tantangan atau mencapai posisi tinggi di leaderboard, mereka mulai merasakan kepuasan pribadi yang tidak hanya bergantung pada penghargaan eksternal. Kepuasan ini berasal dari kesadaran akan kemampuan mereka sendiri dalam menguasai materi, yang kemudian meningkatkan minat dan keinginan mereka untuk terus belajar.

3.2. Peningkatan Pemahaman Gerakan Tari

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan gamifikasi dalam pembelajaran Tari Ranup Lampung secara signifikan meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap gerakan tari. Sebelum pengenalan gamifikasi, mahasiswa sering kali mengalami kesulitan dalam menghafal dan menguasai gerakan yang kompleks dalam Tari Ranup Lampung. Namun, dengan pendekatan gamifikasi, mahasiswa menunjukkan peningkatan kemampuan mereka dalam memahami dan melaksanakan gerakan dengan lebih tepat dan percaya diri. Peningkatan pemahaman Gerakan tari ini disebabkan oleh beberapa hal berikut.

1. Segmentasi Gerakan Melalui Level Up

Salah satu cara gamifikasi membantu mahasiswa dalam memahami gerakan adalah melalui segmentasi gerakan menjadi level-level yang lebih kecil dan mudah dicerna. Setiap level dalam gamifikasi difokuskan pada penguasaan gerakan tertentu sebelum melanjutkan ke gerakan yang lebih kompleks. Mahasiswa diberikan tantangan yang bertahap, mulai dari gerakan dasar hingga rangkaian gerakan yang lebih rumit. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa untuk mempelajari gerakan dengan lebih mendalam pada setiap tahap, sehingga mereka dapat menguasai dasar-dasar sebelum melanjutkan ke tingkat yang lebih tinggi.

2. Umpan Balik Langsung dan Pembetulan

Gamifikasi juga memungkinkan penyediaan umpan balik langsung selama proses pembelajaran. Melalui sistem poin dan evaluasi berkelanjutan, mahasiswa dapat segera mengetahui apakah gerakan yang mereka lakukan sudah benar atau masih perlu diperbaiki. Umpan balik ini membantu mahasiswa untuk segera melakukan koreksi pada gerakan yang salah, sehingga mereka dapat belajar secara lebih efektif. Pembetulan yang diberikan secara *real-time* ini memastikan bahwa mahasiswa tidak mengulang kesalahan yang sama, sehingga pemahaman mereka terhadap gerakan menjadi lebih solid.

3. Penggunaan Visualisasi dan Video Pembelajaran

Gamifikasi dalam penelitian ini juga melibatkan penggunaan visualisasi dan video pembelajaran yang diintegrasikan ke dalam platform gamifikasi. Visualisasi gerakan dalam bentuk video atau animasi membantu mahasiswa untuk lebih mudah memahami gerakan yang harus mereka pelajari. Dengan melihat demonstrasi gerakan yang jelas, mahasiswa dapat meniru gerakan dengan lebih tepat. Video pembelajaran yang disertai dengan penjelasan kontekstual tentang makna budaya di balik gerakan juga memperkaya pemahaman mahasiswa, sehingga mereka tidak hanya mempelajari gerakan, tetapi juga memahami esensinya dalam konteks budaya Aceh

4. Meningkatkan Retensi Melalui Pembelajaran Berbasis Tantangan

Sistem tantangan dalam gamifikasi mendorong mahasiswa untuk terus berlatih dan meningkatkan keterampilan mereka. Tantangan yang dirancang untuk menguji kemampuan mahasiswa dalam menguasai rangkaian gerakan tertentu membuat mereka lebih termotivasi untuk mengulang latihan. Pembelajaran berbasis tantangan ini efektif dalam meningkatkan retensi gerakan, karena mahasiswa cenderung mengingat gerakan dengan lebih baik setelah melewati beberapa kali pengulangan yang terarah. Retensi ini sangat penting dalam pembelajaran tari, di mana penguasaan gerakan secara konsisten dan berkesinambungan merupakan kunci keberhasilan.

IV. KESIMPULAN

Penerapan gamifikasi terbukti efektif dalam meningkatkan motivasi, keterlibatan emosional, dan pemahaman mahasiswa terhadap Tari Ranup Lampuan. Dengan elemen-elemen gamifikasi seperti sistem *leaderboard*, *poin*, dan tantangan bertahap, mahasiswa terdorong untuk lebih aktif berpartisipasi dan menikmati proses pembelajaran. Sistem *leaderboard*, *poin*, dan tantangan bertahap tidak hanya meningkatkan motivasi belajar, tetapi juga membantu mahasiswa menguasai gerakan secara bertahap dan memahami nilai budaya di balik tari. Pendekatan gamifikasi dapat menjadi inovasi yang bermanfaat dalam upaya pelestarian budaya, khususnya di era modern yang menghadirkan tantangan bagi keberlanjutan seni tradisional seperti Tari Ranup Lampuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, R. (2018). *Makna tari ranup lampuan (dengan pemberian uang di dalamnya) bagi masyarakat Banda Aceh*. ISI Yogyakarta.
- Futuh, F. (2023). Character Education in Ranup Lampuan Dance: A Critical Study of Non-Verbal Communication. *Journal of Islamic Education and Ethics*, 1(1), 13–26.
- Komariyah, K., Hasan, M., Chumaidah, A., Huda, N., & Utami, S. (2024). Technological Innovation in Islamic Education (Exploring the Impact of Gamification-Based Media on Enhancing Elementary School Students' Learning Creativity). *Maharot: Journal of Islamic Education*, 8(1), 13–28.
- Leony, E. (2011). *Pertunjukan Tari Ranup Lampuan Dalam Upacara Adat Pernikahan Masyarakat Meulaboh, Aceh Barat*. UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA.
- Maulana, A., Wardana, F. B., Hanafri, M. I., & Laela, N. L. B. (2024). Aplikasi Jadwal Pintar Berbasis Gamifikasi untuk Optimalkan Produktivitas Waktu bagi Mahasiswa. *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi Dan Multimedia*, 6(2), 168–180.
- Muhammad Rusli, M. T., Hermawan, D., & Supuwingsih, N. N. (2020). *Memahami E-learning: Konsep, Teknologi, dan Arah Perkembangan*. Penerbit Andi.
- Muslihin, H. Y., Pranata, O. H., Nurlaela, W., & Cahyana, C. (2021). Hambatan dan tantangan proses pelestarian budaya lokal dalam konteks seni tradisi pencak silat di tasikmalaya. *JORPRES (Jurnal Olahraga Prestasi)*, 17(2), 99–108.
- Nugroho, W. A., Santosa, P. I., & Fauziati, S. (2019). Pemanfaatan Gamifikasi pada Massive Open Online Course (MOOC). *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)*, 1(1).
- Nur, R. J., Wildan, D., & Komariah, S. (2023). Kekuatan Budaya Lokal: Menjelajahi 3S (Sipakatau, Sipakalebbi, Dan Sipakainge') Sebagai Simbol Kearifan Lokal. *MIMESIS*, 4(2), 166–179.
- Paso, M., Latabi, M., & Abd Rahman, K. (2023). Development Of Educational Life And Career For Adolescents. *Journal of Education and Culture (JEaC)*, 3(2), 239–246.
- Rahardja, U., Aini, Q., Ariessanti, H. D., & Khoirunisa, A. (2018). Pengaruh gamifikasi pada idu (ilearning education) dalam meningkatkan motivasi belajar mahasiswa. *NJCA (Nusantara Journal of Computers and Its Applications)*, 3(2), 120–124.
- Riezal, C., Joebagio, H., & Susanto, S. (2018). Dance Ranup Lampuan: Exploration Genius Aceh Movement and Expression Female Body Beauty Values in Culture Peumulia Jamee. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 5(5), 146–155.
- Sitorus, M. B. (2016). Studi literatur mengenai gamifikasi untuk menarik dan memotivasi: Penggunaan gamifikasi saat ini dan kedepan. *Studi Literatur*, 110.
- Srimuliyani, S. (2023). Menggunakan teknik gamifikasi untuk meningkatkan pembelajaran dan keterlibatan siswa di kelas. *EDUCARE: Jurnal Pendidikan Dan Kesehatan*, 1(1), 29–35.
- Sriwahyuni, N., Kafryati, B., & Angelia, N. (2023). Meningkatkan Minat Belajar Siswa dengan Menggunakan Teknologi Multimedia (Wordwall) pada Pembelajaran Seni Budaya Kelas VII di Tingkat SMP. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 4(3), 3004–3015.
- Triwardani, R., & Rochayanti, C. (2014). Implementasi kebijakan desa budaya dalam upaya pelestarian budaya lokal. *Reformasi*, 4(2).
- Valentinna, C. R., Kurnianti, E. M., & Hasanah, U. (2024). Media Belajar Gamifikasi terhadap Peningkatan Motivasi Belajar Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 8(3), 1722–1732.
- Yaniaja, A. K., Wahyudrajat, H., & Devana, V. T. (2020). Pengenalan model gamifikasi ke dalam e-learning pada perguruan tinggi. *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 22–30.
- Yuliasih, M., Adnyana, I. N. W., Putra, P. S. U., & Pongpalilu, F. (2023). *Sumber & Pengembangan Media Pembelajaran (Teori & Penerapan)*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

KONSEP TABUNG TANAM DENGAN KOMBINASI TANAMAN APU-APU SEBAGAI SOLUSI PENANGANAN LIMBAH RUMAH POTONG HEWAN

Zikri Maulina Gaznur^{1,2}, Mahmudi Mahmudi¹, Sri Wahyuni¹

¹Animal Science Department, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Research Center of Aceh Cattle and Local Livestock, LPPM, USK, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: zikrimaulina@usk.ac.id

RINGKASAN

Tingginya tingkat pemotongan hewan di rumah potong hewan (RPH) memberikan dampak yang baik untuk pemenuhan pangan daging bagi masyarakat. Namun, aktivitas tersebut juga akan disertai dengan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan sehingga diperlukannya penanganan limbah secara baik dan tepat. Penanganan limbah yang tidak benar akan memberikan dampak negatif dari segi kesehatan bagi masyarakat dan lingkungan sekitar RPH. Hasil riset yang dilakukan Lestari et al. (2015), mengungkapkan bahwa dari 182 responden, 48,90% responden merasa terganggu oleh aroma yang tidak sedap, 22,53% terganggu oleh kebisingan, dan 23,63% terganggu oleh serangga dan hama dari RPH. Tingginya persentase responden yang merasa terganggu oleh keberadaan limbah seharusnya dapat diatasi guna menciptakan rasa aman dan nyaman ketika tinggal di rumah yang berada di dekat RPH. Dampak yang ditimbulkan RPH biasanya diakibatkan oleh RPH yang tidak terjaga kebersihan setelah proses pemotongan atau adanya sarana penanganan limbah yang tidak sesuai dengan syarat teknis RPH yang tertera dalam SNI 01-6159-1999. Jika keberadaan RPH berdampak tidak baik maka RPH perlu direnovasi. Sarana penanganan limbah RPH harus didesain dengan baik agar tidak ada dampak negatif yang ditimbulkan. Salah satu konsep yang dapat digunakan sebagai upaya penanggulangan masalah tersebut adalah konsep tabung tanam. Konsep ini menggunakan tabung plastik yang kedap udara, dimasukkan dalam tanah atau ditanam dengan desain tabung yang sudah dilengkapi filter untuk menghasilkan air limbah yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk organik cair (POC). Konsep tabung tanam ini dapat direalisasikan dalam jangka waktu yang cepat. Penggunaan tabung tanam dengan bahan plastik yang kedap air tidak akan mencemari tanah dan dapat bertahan lama, bahkan bertahun-tahun jika perawatannya diperhatikan dengan baik. Penerapan konsep tabung tanam ini diharapkan dapat merubah dampak negatif menjadi positif. Air limbah yang sudah difilterisasi melalui tabung tanam tidak akan menimbulkan aroma yang tidak sedap. Selain itu, air limbah RPH tidak akan mencemari perairan yang ada di sekitar RPH sehingga kontaminasi mikroba dapat dihindari. Amonia dan gas metan yang dihasilkan juga tidak akan menjadi sumber penyebab efek rumah kaca. Pengolahan limbah padatnya juga dapat dikontrol dengan mudah dengan memanfaatkannya menjadi pupuk organik padat yang bahkan akan membuat lingkungan khususnya tanah menjadi lebih subur.

I. PENDAHULUAN

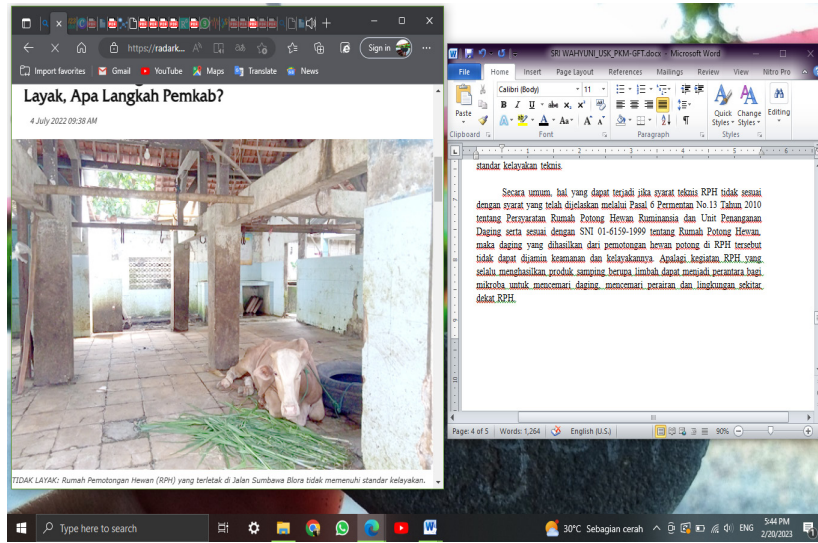
Rumah potong hewan adalah bangunan kompleks yang dirancang dengan konstruksi khusus serta memenuhi persyaratan teknis dan higienitas tertentu sebagai tempat memotong hewan atau ternak untuk konsumsi masyarakat, baik ruminansia besar/kecil (sapi, kerbau, domba dan kambing), pseudoruminansia (kuda dan kelinci) maupun unggas (ayam dan bebek). Menurut Permentan No.13 (2010), RPH merupakan unit pelayanan masyarakat yang dibangun dengan tujuan untuk menyediakan daging yang aman, sehat, utuh dan halal atau biasa disebut dengan ASUH. Berdasarkan definisi tersebut, RPH memiliki fungsi sebagai sarana untuk melaksanakan:

- a. Pemotongan hewan secara benar sesuai dengan syarat kesehatan masyarakat veteriner, kesejahteraan hewan dan syariah agama yang berlaku,
- b. Pemeriksaan hewan potong sebelum dipotong (*ante-mortem*) dan sesudah dipotong (*post-mortem*),
- c. Pemantauan serta surveilans penyakit hewan dan zoonosis yang ditemukan saat pemeriksaan *ante-mortem* dan *post-mortem* guna pencegahan, pengendalian dan pemberantasan penyakit hewan menular.

Kegiatan pemotongan hewan yang dilakukan di RPH akan menghasilkan produk utama berupa daging yang ASUH, namun ada juga produk samping yang dihasilkan dari setiap pemotongan hewan potong yaitu limbah. Limbah RPH adalah sisa buangan dari proses pemotongan hewan potong dan hasil samping yang tidak dimanfaatkan. Limbah yang dihasilkan dari proses kegiatan RPH dapat mencemari lingkungan sekitar apabila tidak dilakukan penanganan yang baik dan tepat. Menurut Databoks (2022), Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat Indonesia memiliki RPH dan tempat potong hewan (TPH) sebanyak 1.644 pada tahun 2022. Jumlah RPH yang banyak dengan tingkat pemotongan yang tinggi tentu akan menghasilkan produk samping berupa limbah yang tinggi juga. Hal tersebut akan menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat sekitar, terlebih jika penanganan limbah atau pembuangan limbah dilakukan di area terbuka.

Umumnya, jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan RPH adalah limbah cair yang berasal dari darah hasil pemotongan hewan potong, urin dan air cucian hewan potong. Selain itu, ada juga limbah padat yang berasal dari perut hewan potong yaitu isi rumen. Menurut Singh et al. (2014), jika tidak dikendalikan dengan baik maka kegiatan RPH yang menghasilkan limbah akan mempengaruhi kualitas air, tanah dan udara di sekitarnya. Dampak ini akan dirasakan oleh masyarakat yang bertempat tinggal disekitar RPH. Riset mengenai dampak RPH yang dilakukan oleh Lestari et al. (2015), menunjukkan bahwa masyarakat yang tinggal disekitar tempat pemotong hewan (TPH) merasa terganggu dengan adanya TPH dan limbah yang dihasilkan. Riset ini diperkuat oleh Singh et al. (2014) yang menunjukkan bahwa ada 95% masyarakat yang menyadari bahwa tinggal di dekat RPH dapat menyebabkan gangguan kesehatan akibat limbah yang dihasilkan.

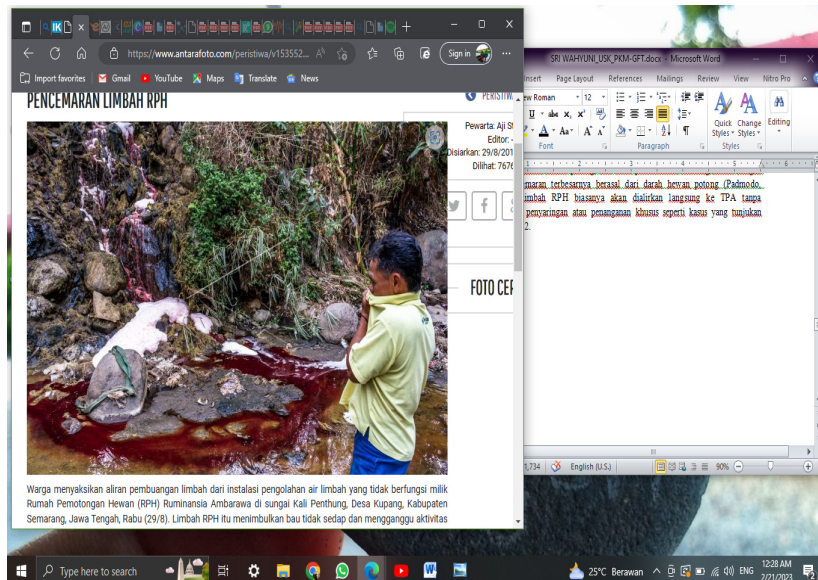
Berdasarkan hasil evaluasi dan pemantauan Direktorat Kesehatan Masyarakat Veteriner dan Pascapanen Kementerian Pertanian, sebagian besar RPH yang ada di Indonesia cukup memprihatinkan dan tidak memenuhi syarat teknis yang sudah ditetapkan sehingga perlu dilakukannya relokasi, renovasi dan rehabilitasi (Irma et al., 2018). Pernyataan tersebut juga didukung oleh hasil riset yang dilakukan oleh Tawaf et al. (2013), bahwa dari 20 RPH di Jawa dan Nusa Tenggara yang diamati kondisinya, hanya 20% yang termasuk dalam kategori layak secara teknis sementara dan sisanya masih dalam standar kelayakan teknis.



Gambar 1. Kondisi RPH Tidak Memenuhi Standar Kelayakan

Sumber: (Chanief, 2022)

Data BPS (2021), menunjukkan bahwa pada tahun 2021 jumlah ternak sapi yang dipotong sebanyak 915.682 ekor, kerbau 25.235 ekor, kuda 1.945 ekor, kambing 134.709 ekor, domba 102.314 ekor, dan babi 368.057 ekor. Banyaknya jumlah ternak yang dipotong tentu akan menghasilkan lebih banyak produk samping berupa limbah. Air limbah yang dihasilkan oleh RPH adalah limbah jenis *biodegradable* yang terdiri dari darah, sisa-sisa pencernaan, urin dan pencemar lainnya yang dihasilkan dari proses pencucian. Bahkan, secara lebih luas air limbah RPH berasal dari hasil pembersihan ruang pemotongan, pencucian saluran pencernaan hewan potong, dan hasil pembersihan kandang hewan dengan tingkat pencemaran terbesarnya berasal dari darah hewan potong. Air limbah yang dihasilkan RPH biasanya akan dialirkan langsung ke TPA tanpa dilakukannya penyaringan atau penanganan khusus seperti kasus yang tunjukan pada Gambar 2



Gambar 2. Pencemaran Limbah RPH

Sumber: (Setyawan, 2018)

Jumlah air limbah yang banyak akibat aktivitas RPH tentu akan mencemari perairan apabila tidak ditangani dengan tepat dan sigap. Perairan yang sudah tercemar akan ditumbuhi mikroba dan mikroba tersebut akan berkembang sehingga dalam beberapa waktu kedepan dapat menyebabkan terjadinya pemanfaatan oksigen terlarut dalam air. Adanya aktivitas pemanfaatan oksigen terlarut yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya degradasi atau penurunan kualitas air (Irma et al., 2018). Pembuangan air limbah yang mengandung nutrisi tinggi langsung ke perairan akan menyebabkan *eutrifikasi* dan mengancam ekosistem akuatik. Limbah cair RPH yang mengandung larutan darah, protein, lemak dan padatan tersuspensi juga menyebabkan bahan organik tinggi sehingga residu yang terlarut memberikan efek mencemari sungai dan badan air (Kundu et al., 2013).

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) adalah jumlah oksigen bebas (O_2) yang terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesa dan absorpsi atmosfer/udara. Oksigen terlarut di suatu perairan sangat berperan dalam proses pernafasan dan penyerapan makanan oleh makhluk hidup dalam air, baik ikan, invertebrata dan jasad renik lainnya. Tingkat oksigen terlarut dalam air berkaitan dengan suhu, tekanan udara, dan kadar salinitas yang dihasilkan oleh limbah. Semakin tinggi limbah mencemari perairan maka semakin berdampak tidak baik bagi kadar DO untuk makhluk hidup habitat air.

Limbah yang mencemari air juga menyebabkan aktivitas pembusukan nutrisi dalam air sehingga konsentrasi *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), amonia (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S) menjadi lebih tinggi, adanya perubahan pH juga menimbulkan bau urea dan belerang (Widya et al., 2008). Tingginya kadar BOD dan COD akan mempengaruhi kemampuan asimilasi dalam air menjadi tinggi sehingga bakteri akan tumbuh dengan cepat dan mengkonsumsi oksigen terlarut yang mengakibatkan terciptanya kondisi anaerobik. Penguasaan oksigen oleh bakteri akan menyebabkan protozoa dan ikan kekurangan oksigen hingga akhirnya mati. Baku mutu air limbah RPH berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 terdapat pada tabel 1 berikut:

No	Parameter	Kadar	Satuan
1	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	100	mg/L
2	Chemical Oxygen Demand (COD)	200	mg/L
3	Residu Tersuspensi (TSS)	100	mg/L
4	Minyak dan Lemak	15	mg/L
5	Amonia (NH_3-N)	25	mg/L
6	pH	6-9	-
7	Coliform	5×10^3	MPN/100 mL

Sumber: PermenLH (2014)

Dampak lain, adanya senyawa oksigen (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x) yang terdapat pada limbah akan menyebabkan hujan asam. Hal ini karena kedua senyawa tersebut mudah larut dalam air dan membentuk senyawa asam. Jika senyawa asam terbentuk di atmosfer maka pH air hujan menjadi tinggi sehingga terjadi hujan asam. Selain itu, tingginya kandungan amonia juga dapat menimbulkan bau yang sangat tajam sehingga akan menyebabkan kontaminasi kualitas udara yang akan menyebabkan kesehatan terganggu. Riset tersebut telah dilakukan oleh (Abdullahi et al., 2015) menyatakan bahwa faktor yang sangat mempengaruhi kesehatan masyarakat yang tinggal di sekitar RPH disebabkan oleh kontaminasi kualitas udara dan kontaminasi air akibat limbah.

Peningkatan zat-zat tersebut tentu akan menjadi dampak negatif bagi lingkungan dan kehidupan seperti terjadinya ketidakseimbangan kehidupan biotik, kondisi kesehatan yang mulai terganggu dan gangguan terhadap estetika atau keindahan. Dampak tersebut dapat dirasakan oleh masyarakat dengan bukti hasil riset yang dilakukan oleh Singh et al. (2014), menyatakan bahwa 95% masyarakat menyadari bahwa tinggal di dekat RPH dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Surveilainnya juga dilakukan oleh Lestari et al. (2015), menunjukkan bahwa 87,36% responden memahami bahwa TPH menghasilkan limbah yang akan menjadi resiko penyebab gangguan kenyamanan dan kesehatan.

Menurut Abdullahi et al. (2015), keberadaan limbah sangat mempengaruhi lingkungan karena limbah dapat menyebabkan selokan tersumbat sehingga timbul bau yang tidak sedap, masyarakat terjerangkit masalah pernafasan, batuk, asma, diare, demam tifoid, penyakit kaki dan mulut. Penanganan limbah yang tidak baik akan menyebabkan serangga dan hama datang sehingga memicu timbulnya penyakit yang tidak hanya menyerang sumber daya atau pekerja RPH saja tetapi juga masyarakat yang tinggal di daerah sekitar RPH. Jenis penyakit yang pernah menyebar dan diduga akibat limbah adalah malaria, tipus, disentri dan diare (Weobong & Adinyira, 2011).

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Konsep Inovasi Tabung Tanam

Lokasi pembangunan RPH harus memenuhi syarat sesuai dengan SNI 01-6159-1999 tentang Rumah Potong Hewan yang pada salah satu poinnya menjelaskan bahwa RPH tidak boleh berada di dekat kota padat penduduk, letaknya lebih rendah dari pemukiman penduduk dan tidak menimbulkan gangguan atau pencemaran lingkungan. Namun, sering sekali syarat tersebut diabaikan sehingga di kemudian hari menimbulkan masalah-masalah seperti adanya dampak negatif dari limbah akibat sarana penanganan limbah yang tidak tepat. Dampak negatif tersebut dapat berupa kenyamanan yang mulai terganggu dan kondisi kesehatan yang menurun.

Menghadapi masalah limbah RPH yang banyak menimbulkan dampak negatif tentu menjadi perhatian khusus untuk merenovasi dan mengubah prosedur teknis pelaksanaannya terutama pada bagian penanganan limbah. Hal ini perlu dilakukan untuk mencegah maraknya pencemaran lingkungan yang menyebabkan masyarakat di sekitar RPH menjadi tidak nyaman. Pencemaran limbah yang tidak baik, juga akan berimbas pada kondisi kesehatan. Hal ini terjadi karena limbah yang dihasilkan RPH langsung dialirkan ke badan air seperti sungai, laut, danau atau drainase tanpa perlakuan dan pengolahan diawal, apabila hal tersebut dilakukan secara berkesinambungan maka pencemaran tidak hanya terjadi di lingkungan sekitar RPH tetapi akan menyebar luas.

Secara umum, idealnya setiap RPH harus sudah memiliki sarana penanganan limbah berupa saluran pembuangan limbah cair yang didesain cukup besar agar aliran limbah dapat mengalir dengan lancar, terbuat dari bahan yang mudah dibersihkan dan dirawat, kedap air agar tidak mencemari tanah, mudah diawasi dan dijaga agar tidak menjadi sarang tikus dan rodensia lainnya. Saluran pembuangan ini juga harus dilengkapi dengan penyaring yang mudah diawasi dan dibersihkan. Strategi pengolahan limbah dan pembuangan limbah ini disebut dengan *end of pipe* yang artinya pengelolaan limbah yang langsung membuangnya ke tempat pembuangan akhir (TPA). Kekurangan dari strategi ini yaitu tidak mampu mencegah terjadinya pencemaran lingkungan secara maksimal tetapi lebih kepada mengurangi atau menekan dampak negatif akibat limbah RPH terhadap lingkungan sekitar.

Redesain perlu dilakukan untuk menangani sistem pembuangan limbah di RPH. Redesain yang dilakukan harus mempertimbangkan syarat-syarat teknis yang tercantum dalam Permentan No.13 Tahun 2010 tentang persyaratan RPH ruminansia dan unit penanganan daging dan SNI 01-6159-1999 tentang RPH. Konsep tabung tanam adalah salah satu solusi yang dapat digunakan untuk penanganan limbah di RPH. Konsep tabung tanam ini didesain dengan baik guna menghasilkan limbah cair dan limbah padat RPH yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai POC dan pupuk organik padat atau yang dikenal juga dengan kompos. Pupuk organik padat didapatkan dari hasil penyaringan dan pengendapan limbah cair sehingga limbah cair yang dikeluarkan dari tabung tanam tidak akan mencemari TPA dan daerah sekitar karena limbah cair tersebut karena sudah melewati proses penyaringan selama beberapa tahap berupa filterisasi. Limbah cair hasil filterisasi akan ditampung dalam kolam untuk dijadikan POC dan dimanfaatkan sebagai media pengembangan tanaman apu-apu (*Pistia statiotes*).

Tanaman apu-apu (*Pistia statiotes*) adalah jenis tanaman air yang sering digunakan sebagai hiasan kolam ikan. Tanaman apu-apu (*Pistia statiotes*) memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemaran limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Akar yang terdapat pada tanaman apu-apu mampu memberikan dampak positif sebagai penyaring sehingga kualitas air dapat terjaga. Tanaman apu-apu yang tumbuh melimpah juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan obat-obatan. Kolaborasi antara konsep tabung tanam dengan tanaman apu-apu dapat menjadi solusi yang baik untuk penanganan limbah RPH. Adanya konsep tabung tanam yang menghasilkan limbah cair lebih bersih, ditindaklanjuti dengan pengembangan tanaman apu-apu maka diharapkan tidak ada lagi pencemaran lingkungan dan dampak negatif yang ditimbulkan dari limbah RPH.

III. HASIL /TEMUAN

3.1 Tabung Tanam dan Tanaman Apu-apu

Tabung tanam adalah alat yang dibuat dengan menggunakan tabung plastik atau toren/tendon air sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama. Jika dikaji ulang, maka penggunaan alat tersebut telah sesuai dengan persyaratan bangunan dan tata letak yang tercantum pada SNI 01-6159-1999 pada poin 6.6.1 yang menguraikan bahwa sistem saluran pembuangan limbah cair harus besar agar aliran limbahnya lancar, terbuat dari bahan yang mudah dirawat dan dibersihkan, kedap air, mudah diawasi dan dijaga agar tidak menjadi sarang tikus dan rodensia lain serta saluran pembuangannya dilengkapi oleh penyaring yang mudah diawasi dan dibersihkan, dengan syarat pembersihannya harus dilakukan rutin untuk menjaga ketahanan dari tabung tanam itu sendiri. Adanya konsep tabung tanam, keberadaan air limbah RPH yang tinggi kadar BOD dan COD akan menjadi rendah, minyak dan lemak akan berkurang, amonia yang dihasilkan dapat ditoleransi akibat filterisasi yang terjadi. Air hasil

filterisasi tersebut dapat digunakan kembali sebagai POC dan media pengembangan tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*). Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) termasuk dalam family *araceae* yang tumbuh mengapung di atas permukaan air dengan akar yang menggantung dalam air (Nasution et al., 2021). Keduanya memiliki hubungan yang saling menguntungkan. Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) merupakan tumbuhan akuatik yang biasanya digunakan sebagai fotromediator, yaitu tanaman yang mampu menyerap logam berat dan mineral tinggi, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Fitoremediator juga dapat digunakan untuk membersihkan udara dari polusi. Artinya, tanaman ini selain sebagai penyelamat air, juga dapat menyelamatkan tanah bahkan udara dari serangan pencemar lingkungan. Menurut (Irawanto, 2010), tumbuhan akuatik mampu berperan sebagai pengelola limbah cair.

Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) adalah jenis tanaman air yang memiliki potensi dalam menurunkan kadar pencemar limbah cair yang tinggi bahan organik. Tanaman apu-apu yang dikembangbiakan dalam air limbah akan mengalami pertumbuhan yang cepat. Adanya nitrifikasi adalah alasannya. Nitrifikasi adalah perubahan amonia yang terdapat di air limbah berubah menjadi nitrat. Nitrat adalah nitrogen anorganik yang digunakan tanaman untuk tumbuh dan berkembang.



Gambar 3. Tanaman Apu-Apu

Sumber: (Alamendah, 2015)

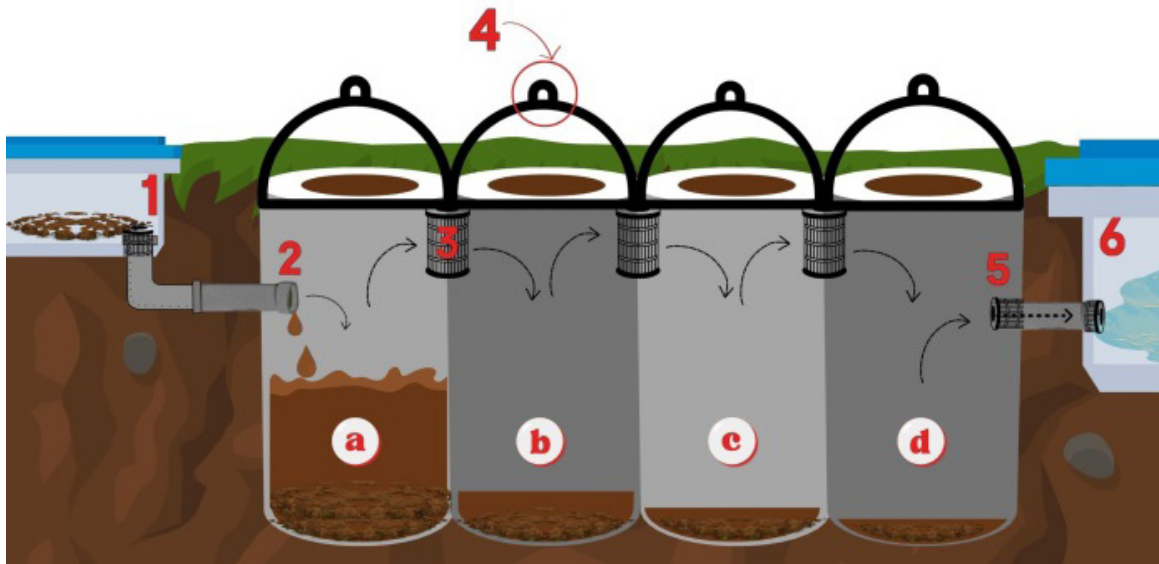
Tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) yang tumbuh dengan cepat akan menghasilkan kapasitas lebih tinggi, tanaman yang sudah melimpah dapat dimanfaatkan menjadi pakan ternak atau dapat dimanfaatkan sebagai tanaman obat. Menurut Fachrurozi et al. (2010), tanaman ini dipercaya memiliki khasiat sebagai pelembut dan penyejuk, obat disentri, haematurie, antiseptik, insektisida dan obat asma. Keberadaan tanaman ini sering digunakan sebagai pembersih air dikarenakan kemampuan akarnya yang dapat mencengkram lumpur dan unsur-unsur toksis di dalam air. Adanya konsep tabung tanam serta pemanfaatan tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) akan menghasilkan limbah yang bersih dan aman dari dampak yang ditimbulkan.

Tidak hanya limbah cair, limbah padat juga akan dihasilkan dari proses pengumpulan dan pengendapan air limbah setelah beberapa hari penyimpanan dalam tabung tanam. Hasil pengendapan tersebut dapat diolah menjadi pupuk organik padat, tentu akan lebih efektif digunakan daripada membuangnya atau menggunakannya secara langsung tanpa pengolahan. Kotoran sapi tidak boleh digunakan langsung sebagai pupuk tanpa proses penguraian, apabila

digunakan langsung, pada proses penguraiannya yang menghasilkan suhu tinggi akan membuat tanaman layu atau bahkan mati.

3.2. Realisasi Konsep Tabung Tanam

Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan tabung tanam. Pembuatan tabung tanam merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah limbah RPH. Konsep tabung tanam ini sendiri tercipta sebagai solusi yang inovatif akibat pengakuan dan keresahan dari masyarakat yang tinggal di sekitar RPH merasa terganggu dengan dampak yang ditimbulkan oleh limbahnya.



Gambar 4. Tabung Tanam

Pada dasarnya tabung tanam ini dibuat dengan konsep di dalam tanah atau ditanam sesuai dengan namanya. Hal ini dilakukan agar kegiatan RPH di luar ruangan tidak terganggu dan harapannya tidak mengganggu pemandangan atau penampakan luar RPH. Selain itu, tata letak tabung tanam dibuat lebih rendah dan ditanam di dalam tanah agar memudahkan air limbah RPH mengalir dan masuk ke dalam tabung tersebut. Konsep tabung tanam dirancang sebagai tempat menyimpan limbah RPH dalam keadaan tertutup dengan harapan dapat mengatasi dampak aroma yang tidak sedap. Pada penerapannya, tanah digali sesuai dengan ukuran tabung plastik (toren/tendon air) yang akan digunakan. Tabung plastik yang sudah disediakan kemudian didesain sesuai dengan fungsinya dan tidak lupa pada bagian tutupnya ditambahkan lubang ventilasi (Gambar 3. No.4) supaya gas yang dihasilkan dari limbah RPH dapat terbuang dengan baik, jika tidak diberikan ventilasi maka akan terjadinya pengumpulan gas yang akan menyebabkan tabung plastik dapat meledak.

Pada Gambar 3. No.1 menunjukkan bak penampungan sementara limbah yang dilengkapi saringan di ujung pipa guna menyaring limbah padat yang berukuran besar agar tidak masuk dalam tabung tanam sehingga dapat diolah langsung menjadi pupuk organik padat. Pipa (No.2) tersebut menghubungkan bak (No.1) ke tabung (a) sebagai jalan masuknya air limbah ke dalam tabung tanam. Sisi kanan atas tabung (a) dilubangi dan dipasang saringan (No.3) lalu dihubungkan dengan tabung selanjutnya (b) hingga ke tabung terakhir (d). Pada tabung terakhir (d), sisi kanan dilubangi dan dipasang pipa serta filter atau saringan (No.5). Lubang keluarnya air limbah hasil penyaringan didesain lebih rendah agar air dapat mengalir ke bak penampungan (No.6). Air yang berada di bak penampungan dapat digunakan sebagai pupuk organik cair.

Bak penampung limbah cair ini nantinya akan diberikan tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) sebagai pembersih dan penyerap bahan organik agar air yang dibuang atau dialirkan ke TPA tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Pertumbuhannya yang cepat akibat nitrifikasi akan membuat tanaman apu-apu melimpah. Namun dengan produksinya yang melimpah, tanaman apu-apu masih dapat digunakan atau dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau obat-obatan sehingga akan saling menguntungkan. Air limbah menjadi air yang baku, tanaman apu-apu (*Pistia stratiotes*) dapat dimanfaatkan dan lingkungan sekitar akan lebih nyaman tanpa khawatir dampak-dampak yang ditimbulkan oleh limbah.

IV. KESIMPULAN

Pengimplementasian atau penerapan konsep tabung tanam di RPH, perlu kontribusi atau kerjasama berbagai pihak dari bidang terkait. Bidang yang terkait dapat berupa pemilik atau penanggung jawab RPH, petugas yang bekerja di RPH dan masyarakat setempat. Selain itu, Badan Standardisasi Nasional (BSN) juga harus terlibat dalam hak mengawasi kegiatan renovasi RPH terkait pembangunan konsep tabung tanam dengan harapan pencemaran dan dampak akibat limbah RPH tidak meresahkan dan mengganggu masyarakat sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, A., Kadarman, N., Hasan, A. & Madobi, I.S., 2015. Negative Impact of Abattoir Activities and Management in Residential Neighbourhoods in Kuala Terengganu, Malaysia. *International Journal of Public Health Science*, 4(2), pp.124-30.
- Alamendah, 2015. *Apu-Apu (Pistia Stratiotes, Tanaman Hias Pembersih Air*. URL: [Apu-Apu \(Pistia stratiotes\), Tanaman Hias Pembersih Air | Alamendah's Blog](#). Diakses Tanggal 27 Februari 2023.
- Badan Pusat Statistik, 2021. *Jumlah Ternak yang Dipotong Di RPH Menurut Provinsi dan Jenis Ternak Tahun 2019-2021*. URL: [HYPERLINK "https://www.bps.go.id/indicator/24/214/1/jumlah-ternak-yang-dipotong-di-rumah-potong-hewan-rph-menurut-provinsi-dan-jenis-ternak.html"](https://www.bps.go.id/indicator/24/214/1/jumlah-ternak-yang-dipotong-di-rumah-potong-hewan-rph-menurut-provinsi-dan-jenis-ternak.html) *Badan Pusat Statistik (bps.go.id)*. Diakses Tanggal 18 Februari 2023.
- Badan Standardisasi Nasional, 1999. *Standar Nasional Indonesia Rumah Potong Hewan SNI 01-6159-1999*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Chanief, A.Z., 2022. *Rumah Potong Hewan di Blora Dinilai Sudah Tak Layak, Apa Langkah Pemkab?*. URL: [HYPERLINK "https://radarkudus.jawapos.com/blora/04/07/2022/rumah-pemotongan-hewan-di-blora-dinilai-sudah-tak-layak-apa-langkah-pemkab/"](https://radarkudus.jawapos.com/blora/04/07/2022/rumah-pemotongan-hewan-di-blora-dinilai-sudah-tak-layak-apa-langkah-pemkab/) *Rumah Pemotongan Hewan di Blora Dinilai Sudah Tak Layak, Apa Langkah Pemkab? | Radar Kudus (jawapos.com)*. Diakses Tanggal 20 Februari 2023.
- Databoks, 2022. *Ada 1.644 Rumah Pemotongan Hewan Di Indonesia Pada 2022, Ini Sebaran Wilayahnya*. URL: [HYPERLINK "https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/11/16/ada-1644-rumah-pemotongan-hewan-](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/11/16/ada-1644-rumah-pemotongan-hewan)

di-indonesia-pada-2022-ini-sebaran-wilayahnya” *Ada 1.644 Rumah Pemotongan Hewan di Indonesia pada 2022. Ini Sebaran Wilayahnya (katadata.co.id)*. Diakses Tanggal 18 Februari 2023.

- Fachrurazi, M., Utami, L.B. & Suryani, D., 2010. Pengaruh Variasi Biomassa Pistia stratiotes L. terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Tahu Di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal KES MAS UAD*, 4(1), pp.1-75.
- Irawanto, R., 2010. Fitoremediasi Lingkungan dalam Taman Bali. *Jurna Lokal Wisdom* 2, 2(4), pp.29-35.
- Irma, L., Budhi Soesilo, E. & Soemantojo, R.W., 2018. Pengelolaan Air Limbah Rumah Potong Hewan di RPH X, Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 25(1), pp.33-44.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Rumah Potong Hewan.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2010. *Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia No.13 tentang Persyaratan Rumah Potong Hewan Ruminansia dan Unit Pelayanan Daging (Meat Cutting Plant)*. Menteri Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Kundu, Debsarkar, & Mukherjee, S., 2013. Treatment of Slaughter House Wastewater in a Sequencing Batch Reactor: Performance Evaluation and Biodegradation Kinetics. *BioMed Research International*, 2013, pp.1-11.
- Lestari, A., Nuraini, H., Priyanto, R. & Salundik, 2015. Persepsi Masyarakat terhadap Limbah Tempat Pemotongan Hewan (TPH) Kuda di Kabupaten Jeneponto Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 3(2), pp.113-18.
- Nasution, H., Fatimah, S., Perdana, F. & Siregar, S.H., 2021. Tanaman Apu-Apu (Pistia Stratiotes L.) dengan Penambahan Zeolit sebagai Agen Fitoremediasi air Terkontaminasi Logam Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), dan Timbal (Pb). *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 11(2), pp.163-76.
- Setyawan, A., 2018. *Pencemaran Limbah RPH*. URL: [HYPERLINK "https://www.antarafoto.com/peristiwa/v1535523024/pencemaran-limbah-rph"](https://www.antarafoto.com/peristiwa/v1535523024/pencemaran-limbah-rph) *Pencemaran Limbah Rph | ANTARA Foto* . Diakses Tanggal 20 Februari 2023.
- Singh, A.L., Jamal, S., Baba, S. & Islam, M.M., 2014. Environmental and Health Impact from Slaughter Houses Located on the City Outskirt: A Case Study. *Journal of Environmental Protection*, 5(6), pp.566-75.
- Singh, S., Vijayanand, S. & Moholkar, M., 2014. Optimization of Carboxymethylcellulase Production from Bacillus Amyloliquefaciens SS35. *Biotech*, 4 (4), pp.411-24.
- Tawaf, R., Rachmawan, O. & Firmansyah, C., 2013. Pemotongan Sapi Betina Umur Produktif dan Kondisi RPH di Pulau Jawa dan Nusa Tenggara. In *Workshop Nasional Konservasi dan Pengembangan Sapi Lokal Fakultas Peternakan Unpad*. 13 November 2013, Bandung, Indonesia. pp 1-14.
- Weobong, C.A.-A. & Adinyira, E.Y., 2011. Operational Impacts of the Tamale Abattoir on the Environment. *Journal Public Health Epidemiol*, 3(9), pp.386-93.
- Widya, N., Burdiarsa, W. & Mahendra, M.S., 2008. Studi Pengaruh Limbah Pemotongan Hewan dan Unggas Terhadap Kualitas Air Sungai Subak Pakel I Di Desa Darmawangsa Kecamatan Abiansemal Kabupaten Badung. *Ecotrophic*, 3(2), pp.55-60.

ESSENTIAL TRANSFORMATION OF MORTISE-AND-TENON JOINTS FOR EARTHQUAKE-RESISTANT CONTEMPORARY HOUSING (A CASE STUDY IN THE ACEH PROVINCE, INDONESIA)

Cut Nursaniah¹, Izarul Machdar², Azmeri³, Abdur Munir¹

¹Architecture and Planning Department, Engineering Faculty, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Environmental Engineering Laboratory, Chemical Engineering Department, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

³Civil Engineering Department, Universitas Syiah Kuala University, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: cutnursaniah@usk.ac.id

RINGKASAN

Mortise-and-tenon joints reinforced with split wedges and dowels are traditional joint systems that have been the mainstay of vernacular houses for Acehese people to endure earthquakes for centuries. This joint is no longer used now because the construction of houses uses conventional rigid frame techniques. The essential transformation of this connection in the product is urgently needed in Aceh because many conventionally landed houses experienced cracks and collapsed during several recent earthquakes. This paper aims to analyze the essential parts of mortise-and-tenon joints based on the transformation of vernacular houses in Aceh. In-depth interviews were conducted using open-ended questions with the homeowners of 18 vernacular houses in the Aceh province, who were selected using the purposive sampling method to determine the characteristics of house construction based on geographical areas. Simultaneously, direct observations were made at home (including measurements, redrawing, and photo-taking). The data collection also uses literature study techniques to examine further the principles of mortise-and-tenon joints' performance against earthquakes and obtain the latest technological information regarding joints whose performance is identical to mortise-and-tenon joints when facing earthquake forces. This paper suggests that a good alternative to conventionally constructed joint systems is an Aceh concept that uses an interlocking brick design, namely in the composition of an H-profile with a distinctive color to support the uniqueness of the interlocking shape. This interlocking design has the essential mortise-and-tenon joints of Aceh vernacular houses that are earthquake friendly, ecological, cost-effective, and quick to build.

I. PENDAHULUAN

In Aceh, Indonesia, people must always be aware of earthquakes because tectonic plates cross the Aceh region. The house must be one's main concern because mistakes in the design will endanger the safety of the building

and its occupants. People living in earthquake-prone areas should have solutions implemented in their homes to respond to the existing hazards (Jigyasu, 2002). Anticipation of disasters must be done by adopting the principle of earthquake resistance to avoid collapsing houses that could harm the community (Ismail, 2020). Geological conditions, geography, climate, occupants' socioeconomic status, building materials, the available construction skills, and the types of natural disasters that are often an area has experienced in the past can also affect the typology of construction (Lang, 2018).

A traditional construction technique that has long been a structural solution in seismic areas is mortise-and-tenon joints, a wooden joint commonly used in various parts of the world, including in Aceh. Its use from generation to generation shows that this connection system has been tested in the geological and geographical conditions of the Aceh region, which is in a moderate to the strong earthquake zone, according to research (Sunardi, 2017), with a maximum ground peak acceleration of 0.73 g. Several earthquakes have resulted in the collapse of reinforced concrete structures in Aceh. The last strong earthquake in 2016 was very heartbreaking and made us realize that the analysis of vernacular house technology is important and very urgent. Such damage is not only found in Aceh. Damage to reinforced concrete houses occurring at beam-column joints and the collapse of masonry infill walls was also detected in the Palu earthquake in 2018 (Maidiawati, 2020). Fig. 1 shows the position of the Aceh province on the Indonesian earthquake-zone map, which, of course, must be taken into consideration for serious house design in Aceh, now and in the future.

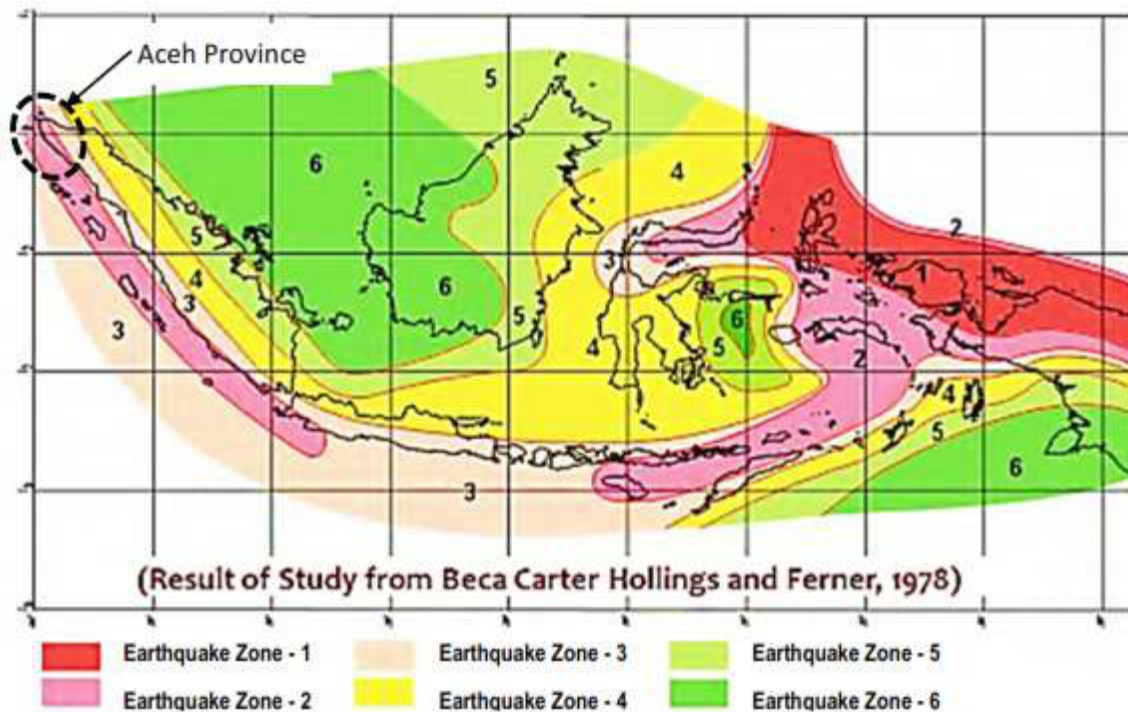


Fig. 1 The earthquake map of Indonesia (Asrurifak, 2017)

Analysis of Aceh's vernacular house construction system technology is now important and urgent to produce contemporary earthquake-resistant housing construction that is sustainable. This study will produce a fundamental transformation from mortise-and-tenon joints to contemporary housing with the latest technology.

The interlocking system method in mortise-and-tenon joints works to unite the various lateral forces on the building frame so that it is earthquake-resistant.

The seismic behavior of wooden structures is highly dependent on the performance of their joints, and mortise and tenon joints were the main joint form used in ancient wooden structures to respond to earthquakes. According to Mahayuddin *et al* (Mahayuddin, 2017) and Xie *et al* (Xie, 2019). Mortise and tenon joints have been used throughout the world for centuries due to their durability, beauty, and ease of use for entire buildings. Mortise and tenon joints provide a strong interlocking between joint members with high friction or damping resistance so that it absorbs most of the earthquake energy (Dewi, 2019) The depth of the notch has a strong influence on the strength of the joint (Rad, 2020). After several earthquakes, gaps may appear between joint members, but this can be corrected by inserting wooden pegs (Awaludin, 2010). This damage has a detrimental effect on the lateral behavior of the wooden frame as its stiffness and energy-dissipation capacity are weak, so it needs strengthening or tight repair (Sha, 2019; Sandak, 2019; Prihatmaji, 2014).

Earthquake-resistant economical housing is needed in seismically-active areas in developing countries because there is often a significant loss of life and collapse of houses due to earthquakes (Alidar, 2023) Mortar-free terrain structures under earthquake loads could be a solution. Shifting building typologies also need to be considered in the context of affordability, sustainability, and future disaster risk reduction (Rawal, 2021; Nursaniah, 2016). Literature studies suggest that earthen construction materials are generally cheaper, cleaner, and more thermally comfortable (Adegun, 2017). This is relatively the same as in Aceh, Indonesia.

The use of mortise-and-tenon joints in the creative design of cultural products is to find solutions to design, modeling, material, and other problems and apply a design philosophy as a result of cultural rearrangement. More consideration should be given to changes in material and structural applications. The mortise-and-tenon structure can be better used to solve existing problems (Liu, 2019).

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

The study's results discussed the possibility of applying this mortise-and-tenon joint system to housing development in Aceh, the essential transformation process from mortise-and-tenon systems to current developments, the materials used, and the form of a new joint system. The analysis results were mapped and interpreted according to the degree of transformation. The core of the mortise-and-tenon joint was analyzed and discussed according to this category.

The concept of architectural aesthetics was added to the analysis to enrich the findings. Other essential elements observed were the typology of the pile and base joints, the house poles' shape, and the soil's stability. The observations highlighted how connection and pile typologies were modified and how these changes affected the culture of housekeeping.

Field data was collected using the purposive sampling method, with the criteria found in stilted houses being identified based on geography. The selection was made through observation and study of the area characteristics. Location 1 is the Aceh Besar District, upstream of the *Krueng*.

Aceh River. The house's floor height varies around the river between 1–2.5 meters because it is prone to flooding, while it is 0.5–0.8 meters in the highlands. Location 2 is the Bireun Regency, on the east coast of Aceh, with lowlands that have undergone a sedimentation process so that the land extends to the Malacca Strait. Many of the swamps are connected to large rivers, but during the dry season, they often experience drought. The floor height of the house is 1.5–2.5 meters, indicating a flood-prone environment. Location 3 is the Nagan Raya District, on the west coast of Aceh, with hilly characteristics and several sloping plains. High rainfall and sea storms cause the coastal land to be covered with sand so that river water cannot flow into the sea and instead form swamps, estuaries, and lakes. Fig. 2 shows the distribution of vernacular houses in Aceh Province which were sampled.

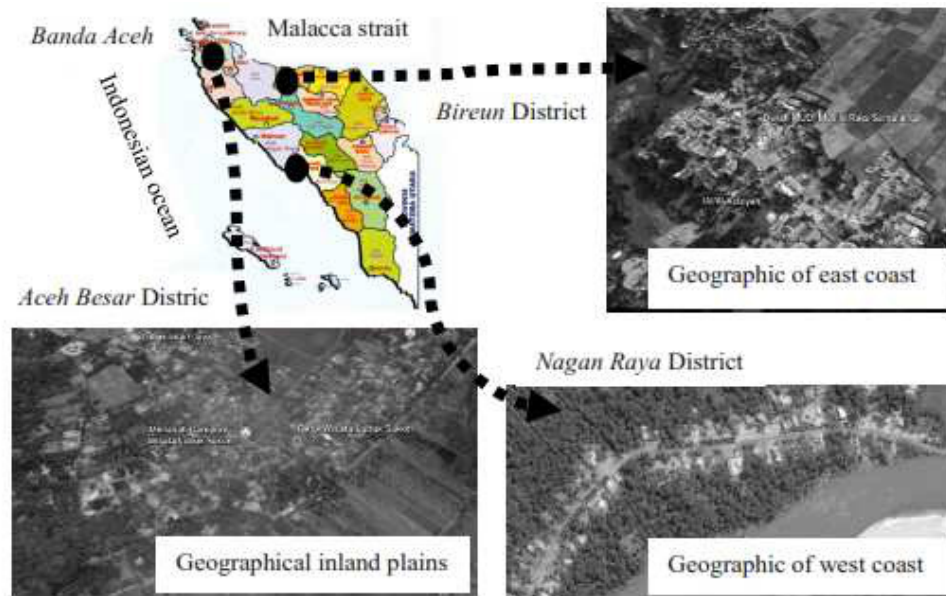


Fig. 2 Distribution of samples of vernacular houses in Aceh Province

Based on the results of the field studies, several typologies of stilted houses and their joint systems were found. The fieldwork also consisted of a series of in-depth interviews with the homeowners of 18 houses spread over the three research locations. Open-ended questions were used to obtain detailed information about the history of their home, how the house protected its residents from earthquakes, how residents maintained their homes, and how they handled changes and adjustments. Measurements, redrawing, photo taking were also carried out, and direct home observations to study and evaluate the structural joint system, building materials, and technology. The results of the interviews were documented through written notes and voice recordings which were then summarized and synchronized with the observations.

Data from literature reviews were also needed to examine the performance principles of traditional Aceh mortise-and-tenon housing joints and conventional rigid-frame housing systems in the face of earthquakes in more depth. Literature studies were also used to conduct in-depth studies of the latest technological developments and joint materials that are identical to the performance of mortise-and-tenon joints in the face of earthquake forces.

III. HASIL /TEMUAN

3.1 Transformation of Materials and Technology

The area of tropical forest in Aceh during the development of vernacular architecture was quite extensive and has been preserved. Based on that, the mortise-and-tenon connection technology was developed for the design of earthquake-resistant houses. The posts of the house are placed on flat cobblestones that are slightly buried in the ground. This construction behaves like a roller if a lateral force reduces the earthquake's energy. Tenons are formed at the ends of the members of a structure called rails and are cut to the size of a square or rectangular hole into posts or blocks. There is usually a shoulder seat when the joint fully enters the mortise hole. The joints are clamped to lock with a split wedge/dowel. This joint system causes stiffness in various directions (horizontal, vertical, diagonal) to withstand multidimensional forces. The mortise-and-tenon joint provides a sturdy finish, which also gives it an attractive appearance.

In Aceh, an illegal logging law that prohibits people from clearing forests carelessly has been implemented. The scarcity of wood affects prices and is therefore not economically viable to be used in public housing construction. But Aceh also produces various kinds of mining materials commonly used for conventional construction. Cement was available because there was a cement factory. The mobility is currently quite high so that building materials such as iron, glass, steel, and so on are fulfilled. The entry of manufactured materials gave new hope to the community in building housing because new alternative materials can be applied to make the house stronger at a lower cost. So, it was very natural for people to start building their built environment conventionally. The typology of houses and joint systems that developed in Aceh concerning their performance in facing earthquakes is shown in Table 1.


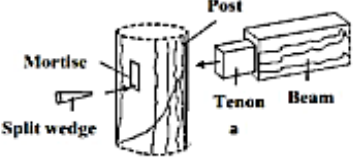
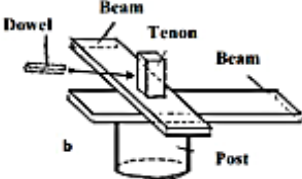

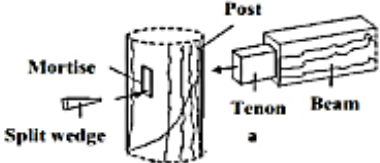
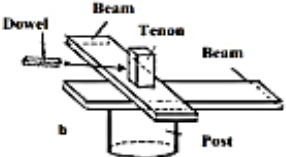

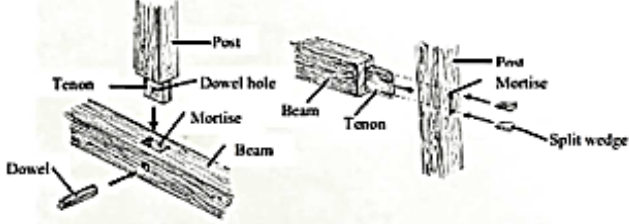

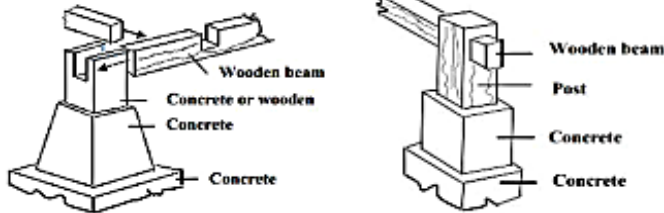

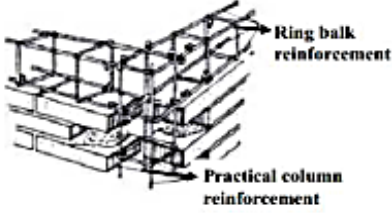
Typologi of houses	House Characteristics	The joints response
 <p>Type 1, when the spread of Islam - 1950s. Spread in inland plains, East coast, West coast</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Wooden stilted house • Lightweight and elastic materials • Round post • Mortise-tenon joints 	 <p>This mortise-tenon joint reduces earthquake energy by following the earthquake's shake</p>
 <p>Type 2, 1950s – 1970s Spread in the inland settlements of Aceh Besar</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Wooden stilted house • Lightweight and elastic materials • Round post • Mortise-tenon joints 	 <p>This mortise-tenon joint reduces earthquake energy by following the earthquake's shake</p>

Table 1. The Typology of Houses and Joint System Response to Earthquake

		<p>Type 3, 1950s – 1970s Spread in the East coast</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wooden stilted house • Lightweight and elastic materials • Square post • Mortise-tenon joints 	<p>This mortise-tenon joint reduces earthquake energy by following the earthquake's shake</p>
		<p>Type 4, 1950s - 1970s Spread on the swampy settlements/estuaries</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wooden stilted house • Square post • Mortise-tenon joints with bolt 	<p>The joint system is less elastic against earthquakes</p>
		<p>Type 5, 1970s – today Spread throughout the province of Aceh</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Landed house • Reinforced concrete, rigid frame joints 	<p>Experienced structural failures in several major earthquakes in Aceh</p>

The joint system has undergone a change from earthquake-resistant mortise-and-tenon joints to rigid frame joints that, in principle, resist seismic forces, but it is not in reality (Tanjung, 2020). This is evidenced by the cracks and collapse of conventionally reinforced concrete buildings in several fairly strong earthquake disasters in Aceh that had a magnitude between 6.5 and 9.0. These disasters reportedly caused many people to lose their lives as a result of being crushed and buried under collapsed buildings, as shown in Fig. 3. There is no information about a house with a mortise-and-tenon connection that has collapsed due to the earthquake. The joint system has flexible properties and can respond well to forces caused by earthquakes so that no fractures occur, like building structures using concrete.



Fig. 3 Samples of two houses constructed of reinforced concrete with rigid frame joints which collapsed during the Pidie Jaya earthquake

3.2. Stepping Towards Sustainability

Vernacular architecture is still under-appreciated regarding modern construction in Aceh, although the natural environment faces serious challenges in terms of environmental impact and natural resource management. Knowledge should be built to include traditional culture in technological principles that are built over time through a continuous process.

Using factory materials, we can apply the essentials of the vernacular structure to a more modern one. Discussions to understand sustainability in contemporary architectural design suggest that dialogue with past traditions is necessary. The author believes this can be done because Hărmănescu and Enache (2016) said that vernacular technology could adapt to changes in the natural environment and is sustainable because it is contextual to the local climate, materials, and culture.

Japanese architecture uses paper and other lightweight traditional materials but has now adjusted to use fabricated materials, such as steel and glass, in its structures. This means that the traditional values in construction have been transformed to create a new traditional habitat in the present that is original and authentic and still upholds traditional values and is also free from the logocentrism of the past.

3.3. Essential Transformation of Mortise-and-Tenon Joints

The ideal approach to earthquake-resistant house design is not by strengthening the structure of the building but by reducing the earthquake forces acting on the building. The main structure that resists the horizontal force must be elastic. Therefore, mortise-and-tenon joints with new technology must be found and applied to homes in earthquake-prone areas. Concrete, brick, and iron materials are used as a substitute for wood, but the joints must apply the mortise-and-tenon performance principle to make it an elastic clamp. Of course, this must also be supported by other earthquake-resistant building criteria.

Earthquake-resistant economical housing is needed in developing countries like Indonesia, especially in Aceh.

Several interlocking brick products have been developed and implemented in building construction, replacing conventional load-bearing and solid masonry systems. This can be considered as an alternative solution for earthquake-resistant houses in Indonesia.

Several studies related to the interlocking system were reviewed and discussed as an essential transformation process for a mortise-and-tenon joint system that could be applied to housing design in the Aceh province. The interlocking bricks made from a mixture of clay, concrete, sand, and compacted cement are environmentally friendly because they do not undergo a burning process like the red brick material that has been used for building houses in Aceh. They lock together and serve as structural walls and partitions for the house, offering lower construction costs comparable to red bricks (Malahayati et al., 2018). Malahayati et al. (2019) reported that this material could also be used as a substitute for reinforced concrete structures such as sloof, column, and ring balk. It does not need to be plastered because of its attractive appearance. The function of interlocking bricks is differentiated for structural and nonstructural use based on the laboratory's compressive strength test for 28 days. Cost analysis is done by simulating the need for interlocking bricks in type 36 of house building that is resistant to structure and non-structure. The use of interlocking bricks can be considered as an alternative to other environmentally friendly building materials at a low cost.

As supported by Al-Fakih *et al* (2018), the shape of the interlocking bricks varies with simplicity, which results in easy and fast production and assembly in a masonry system. In addition, the locking mechanism of all types of interlocking bricks is sufficient to connect the assembled bricks in different directions. The interlocking bricks can be used as either a load-bearing wall or a non-load-bearing system.

Cold-formed steel is preferred for knockdown structures because it is flexible (strong, easy, fast to install and dismantle) and also has an anti-rust coating proven in the pre-salt test. It can use conventional foundations or precast foundations in the form of concrete blocks if the building has a semi-permanent concept (Bhaskara, 2019). This material is suitable for housing construction in the coastal area of Aceh. The interlocking concrete block model provides better strength than ordinary clay bricks for masonry walls (Teguh, 2020).

Various additions of natural ingredients to increase toughness and strength, including the addition of nacre (Cui, 2019), the addition of coconut coir ropes (Sandak, 2019), the addition of Typha-fibers waste (Limami, 2021), the addition of Sugarcane Bagasse (Micheal, 2021), have started to be researched and show promising results. The use of lightweight foamed concrete for building walls indicates the energy-saving potential of the building in the tropics and its low cost (Munir et al., 2015). This is an opportunity for the development of materials that support the transformation of essential mortise-and-tenon as a sustainable earthquake-resistant housing joint system.

The Aceh vernacular house is a construction of interlocking poles and beams. The facade is observed to be composed of the letter H. This H-profile is an essential form that can be translated into a concrete interlocking-brick profile for housing design in Aceh. Fig. 4 shows the essential transformation process of Aceh vernacular houses construction towards the design concept of an H-profile of interlocking bricks.

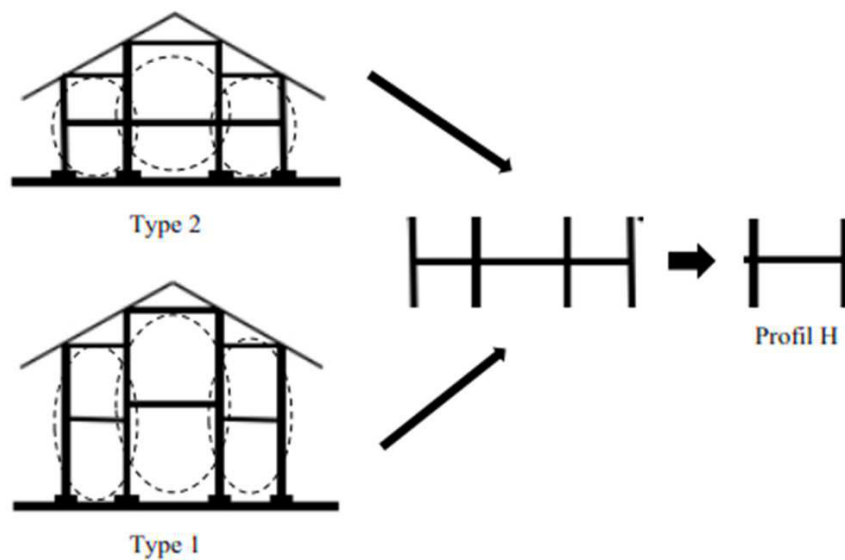


Fig. 4 An essential transformation process of Aceh vernacular houses

This paper also recommends using traditional Aceh colors in this interlocking brick product to support the uniqueness of its interlocking shape. This product is conditioned to be able to withstand lateral forces from two directions, and the depth of the locking tongue should be considered so that the hooks are not easily released when the ground moves. Thus, this product is recommended, taking into account the aesthetics and strength of the building. This product of an H-profile of interlocking bricks is ready to be produced in Banda Aceh, after laboratory tests, as a material for structures and infill walls. As a wall filler panel without interlocking concrete bricks, it also acts as an energy dissipation device. Fig. 5 shows a mortise-and-tenon transformed in material and technology as an H profile of interlocking brick, both of which have essentially the same connection principles for earthquake-resistant house construction.

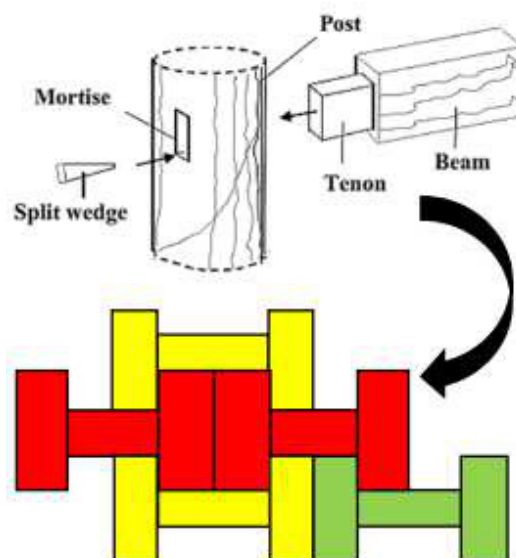


Fig. 5 An essential transformation from the traditional joint system to contemporary technology resulted in a unique interlocking system of the H brick profile shape with traditional Aceh colors

The H-profile aims to create an interlocking system against forces parallel to the direction of the wall, resulting in each wall segment interlocking so that the shape of the wall does not change when resisting the back-and-forth force earthquake. The interlocking-brick system is very suitable for contemporary housing development in Aceh as a construction that is earthquake-resistant, ecological, cost-effective, and saves construction time. Cost savings will occur if the material is used for housing construction in large quantities.

IV. KESIMPULAN

In earthquake-resistant construction, the main structure must withstand the horizontal forces that are elastic. Mortise-and-tenon joints are essential and must be used with new technology. Other criteria of earthquake-resistant buildings must also support this. Various additions of natural materials to increase the toughness and strength of interlocking bricks have been researched and are showing promising results. This is an opportunity to develop materials that support the essential transformation of mortise-and-tenon into sustainable housing because they are earthquake-resistant and low-cost. The H-profile of interlocking bricks aims to ensure that each wall segment is interlocked so that the shape of the wall does not change while resisting the alternating earthquake forces. The interlocking-brick system with the colors commonly used in vernacular Acehese houses is very suitable for contemporary housing developments in Aceh.

V. ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by the Directorate of Research and Community Service (DRPM) DIKTI and Universitas Syiah Kuala. We express our gratitude to these two institutions.

DAFTAR PUSTAKA

- Adegun, O. B., & Adedeji, Y. M. D. (2017). Review of Economic and Environmental Benefits of Earthen Materials for Housing in Africa. *Frontiers of Architectural Research*, 6, 519–528.
- Al-Fakih, A., Mohammed, B. S., Nuruddin, F., & Nikbakht, E. (2018). Development of Interlocking Masonry Bricks and its' Structural Behaviour: A Review Paper. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012127>
- Alidar, E. M. K., Maulana, M., Yuharnibar, & Usman, B. (2023). Juridical Provisions on Government Policies Towards Marginal Economic Actors in Indonesia in the Perspective of Islamic Law. *Samarah*, 7(1), 101–124. <https://doi.org/10.22373/sjkh.v7i1.14621>
- Awaludin, A. (2010). Review on Indonesian Traditional Timber House Sustainability. *Proceedings of The First International Conference on Sustainable Built Environment (1-ICSBE)*, 53–58. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012127>
- Bhaskara, F. N. A. (2019). Recommendation of Knockdown Building Design at Yogyakarta Sand Dunes (Restricted and Heritage Areas). *SEMESTA Teknika*, 22(1), 79–87. <https://doi.org/10.18196/st.221239>
- Cui, S., Lu, Z., & Yang, Z. (2019). Effect of Interlocking Structure on Mechanical Properties of Bio-inspired Nacreous Composites. *Composite Structures*, 226(111260), 10.
- Dewi, N., Pratiwi, S. N., & Fajria, M. N. (2019). Interlocking System pada Konstruksi Knock Down Bangunan. *Jurnal Arsitektur Zo*, 2(3), 147–159. <https://doi.org/10.17509/jaz.v2i3.17610>

- Hărmănescu, M., & Enache, C. (2016). Vernacular and Technology InBetween. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 412–419. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.047>
- Ismail, F. A., Hakam, A., & Ophiyandri, T. (2020). Earthquake Safe Houses Training for Tsunami Preparedness in West Sumatra. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 318–324. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.7850>
- Jigyasu, R. (2002). *Reducing Disaster Vulnerability Through Local Knowledge and Capacity*. Norwegian University of Science and Technology.
- Lang, D. H., Kumar, A., Sulaymanov, S., & Meslem, A. (2018). Building Typology Classification and Earthquake Vulnerability Scale of Central and South Asian Building Stock. *Journal of Building Engineering*, 15, 261–277. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.11.022>
- Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., & Khaldoun, A. (2021). Mechanical and Physicochemical Performances of Reinforced Unfired Clay Bricks with Recycled Typha-fibers Waste as a Construction Material Additive. *Cleaner Engineering and Technology*, 2(100037), 8.
- Liu, W., & Leng, J. (2019). The Application Research of Mortise and Tenon Structure in Cultural and Creative Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/573/1/012006>
- Mahayuddin, S. A., Akmal, W., Wan, Z., & Norlizaiha, S. (2017). Assessment of Building Typology and Construction Method of Traditional Longhouse. *Procedia Engineering*, 180, 1015–1023. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.261>
- Maidiawati, Tanjung, J., Sanada, Y., Nugroho, F., & Wardi, S. (2020). Seismic Analysis of Damaged Buildings Based on Post-Earthquake Investigation of the 2018 Palu. *International Journal of Geomate*, 18(70), 116–122. <https://doi.org/https://doi.org/10.21660/2020.70.9490>
- Malahayati, N., Hayati, Y., Nursaniah, C., & Firsia, T. (2019). Study of Interlocking Brick Costing Based on The Result of Mixed Material Variation Design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1088/1757899X/536/1/012088>
- Malahayati, N., Hayati, Y., Nursaniah, C., Firsia, T., Fachrurrazi, & Munandar, A. (2018). Comparative Study on the Cost of Building Public House Construction Using Red Brick and Interlock Brick Building Material in the City of Banda Aceh. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1088/1757899X/352/1/012041>
- Micheal, A. G., & Moussa, R. R. (2021). Investigating the Economic and Environmental Effect of Integrating Sugarcane Bagasse (SCB) Fibers in Cement Bricks. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 3297–3303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.012>
- Munir, A., Abdullah, Huzaim, Sofyan, Irfandi, & Safwan. (2015). Utilization of Palm Oil Fuel Ash (POFA) in Producing Lightweight Foamed Concrete for Non-Structural Building Material. *Procedia Engineering*, 125, 739–746. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.119>
- Nursaniah, C., Izziah, I., & Qadri, L. (2016). Konsep Kearifan Lokal dari Konstruksi Rumah Vernakular di Pesisir Barat Aceh untuk Perancangan Arsitektur Modern. *Tesa Arsitektur*, 14(2), 55–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.24167/tesa.v14i2.640>
- Prihatmaji, Y. P., Kitamori, A., & Komatsu, K. (2014). Rotation Performance of Javanese Traditional Timber Joint. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.021>
- Rad, A. R., Burton, H., & Weinand, Y. (2020). Out-of-plane (flatwise) behavior of through-tenon connections using the integral mechanical attachment technique. *Construction and Building Materials*, 262(120001), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120001>
- Rawal, V., Bothara, J., Pradhan, P., Narasimhan, R., & Singh, V. (2021). Inclusion of the Poor and Vulnerable: Learning from Post-Earthquake Housing Reconstruction in Nepal. *Progress in Disaster Science*, 10(100162), 8.
- Sandak, J., Riggio, M., Ruggieri, N., & Sandak, A. (2019). Damage Progression Analysis in a Historical Timber Framed Wall Under Cyclic Loads Through an Image-Based Tracking Method. *Construction and Building Materials*, 199, 483–491.

- Sha, B., Wang, H., & Li, A. (2019). The Influence of the Damage of Mortise-Tenon Joint on the Cyclic Performance of the Traditional Chinese Timber Frame. *Applied Sciences*, 9(3429), 20. <https://doi.org/10.3390/app9163429>
- Sunardi, B., Pitriani, W., Rohadi, S., Sulastri, S., & Setiadi, T. A. P. (2017). Estimasi Percepatan Tanah Maksimum dan Spektra Percepatan akibat Gempa 7 Desember 2016 di Kabupaten Pidie Jaya. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-10: Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia*, 1654–1662.
- Tanjung, J., Ismail, F. A., Putra, R., & Faculty, E. (2020). A Simple Method for Strengthening the Brick Masonry Infilled in the Reinforced Concrete Frame. *International Journal of Geomate*, 18(66), 118–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.21660/2020.66.9488>
- Teguh, O., Rivai, F. W., Rahmyanti, N., & Pradana, E. W. (2020). Experimental Investigation on Interlocking Concrete Block for Masonry Wall of Non-Engineered Earthquake Resistant Buildings. *E3S Web of Conferences* 156, 4th ICEEDM 2019, 156.
- Xie, Q., Zhang, L., Wang, L., Zhou, W., & Zhou, T. (2019). Lateral Performance of Traditional Chinese Timber Frames: Experiments and Analytical Model. *Engineering Structures*, 186, 446–455. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.038>

PENGGUNAAN TEKNOLOGI DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA BERBASIS *REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION*

Rahmah Johar*, Mailizar, Mukhlis Hidayat

Departemen Pendidikan Matematika Universitas Syiah Kuala,

Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: rahmah.johar@usk.ac.id

RINGKASAN

Penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika berbasis Realistic Mathematics Education (RME) dapat meningkatkan kualitas pembelajaran dengan menyediakan solusi yang relevan dan kontekstual. Penelitian ini mengembangkan platform Get Math, yang mengintegrasikan tes diagnostik, pembelajaran remedial berbasis video, dan e-modul untuk mendukung implementasi RME. Platform ini dirancang untuk membantu siswa memahami konsep-konsep matematika melalui pendekatan yang berbasis masalah nyata, serta memberikan pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan individual. Tes diagnostik pada platform Get Math digunakan untuk mengidentifikasi kesulitan belajar siswa, sehingga memungkinkan pemberian remedial yang sesuai dengan tingkat pemahaman mereka. Pembelajaran remedial berbasis video dan e-modul menyajikan penjelasan konsep secara interaktif dan menarik, memungkinkan siswa untuk belajar secara mandiri dengan berbagai media yang memperkaya pengalaman belajar. Dengan memanfaatkan teknologi ini, siswa dapat mengakses materi pembelajaran kapan saja dan di mana saja sehingga memperkuat pemahaman dan penalaran matematis siswa. Hasil dari pengembangan platform ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam pembelajaran matematika berbasis RME tidak hanya meningkatkan pemahaman dan penalaran siswa, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih personal dan efektif.

I. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 memberikan pengaruh besar terhadap pendidikan. COVID-19 membuka gerbang pembelajaran digital dalam pendidikan matematika dan meningkatkan penggunaan pembelajaran online (Alabdulaziz, 2021). Seiring dengan proses digitalisasi, keterampilan guru memainkan peran kunci dalam mengajarkan siswa agar memahami pengetahuan secara mendalam dan memfasilitasi pengetahuan ke lingkungan (Turhan, & Demirci, 2021). Teknologi digital dalam pendidikan dapat dimanfaatkan untuk mencari, mengevaluasi, dan menggunakan materi pendidikan di internet (Tsankov & Damyanov, 2017), mendukung penjaminan mutu pendidikan, perkembangan dan pengelolaan penjaminan mutu sekolah, sarana belajar mandiri siswa, pengembangan, dan sumber daya sekolah (Perifanou et al., 2021). Oleh karena itu perkembangan pembelajaran online yang terjadi

secara terburu-buru dalam beberapa tahun terakhir ini menuntut guru untuk mampu menciptakan pembelajaran yang dapat memberikan umpan balik serta evaluasi akhir dengan memanfaatkan teknologi digital atau e-learning. Hanya saja, guru yang umumnya berada pada usia di atas 30 tahun menunjukkan karakteristik digital native, yang artinya meskipun guru terlahir sebagai penggunaan teknologi digital, namun guru tidak dapat menggunakannya untuk pembelajaran dan evaluasi di kelas (Dashtestani & Hojatpanah, 2022; Tejedor et al., 2020). Apalagi masih jarang guru yang menggunakan teknologi digital sebagai umpan balik dan evaluasi akhir siswa, yang akhirnya guru tidak dapat menangani perencanaan, pengelolaan, dan pengembangan jangka panjang (Perifanou et al., 2021).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk membantu guru adalah mengembangkan platform pembelajaran. Artikel ini membahas pengembangan platform yang memuat tes diagnostik berbasis e-learning, pembelajaran remedial berbasis e-learning berbantuan video, dan e-modul.

Tes diagnostik digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan siswa dalam belajar, sehingga hasil belajarnya yang lemah dapat ditindak lanjuti (Mutmainna, Dian, Mania, & Sriyanti, 2018). Tes diagnostik sebagai tes yang mengidentifikasi masalah spesifik yang mungkin dihadapi siswa dan menentukan seberapa besar kesenjangan antara kemampuan awal siswa dan kemampuan yang diharapkan oleh guru (Weeden, Winter & Broadfoot, 2002).

Tes diagnostik dapat diberikan kepada siswa sebelum pembelajaran untuk mengetahui kemampuan awal siswa terkait materi yang akan dipelajari dan dapat juga diberikan setelah pembelajaran. Berdasarkan hasil tes diagnostik yang dilakukan setelah pembelajaran, dapat diketahui siswa yang sudah mencapai ketuntasan dan belum mencapai ketuntasan, selanjutnya dilakukan pembelajaran remedial bagi siswa yang belum mencapai ketuntasan hasil belajar. Penelitian ini juga merancang pembelajaran remedial berbasis e-learning berbantuan video.

Penggunaan video dapat merangsang pendengaran dan penglihatan siswa agar lebih fokus, video juga dapat menyampaikan informasi dengan jelas (Siwi & Puspaningtyas, 2020). Selain itu, penggunaan video menjadikan siswa dapat mengingat materi lebih lama, meningkatkan pemahaman konsep, dan minat belajar (Hasiru et al., 2021). Sehingga, penggunaan video pada pembelajaran remedial dapat meningkatkan hasil belajar dan mencapai nilai ketuntasan (Mustofa, 2018).

Modul merupakan bagian dari sumber belajar yang dapat digunakan secara mandiri oleh siswa. Pengajaran menggunakan modul lebih efektif dibandingkan metode pengajaran tradisional karena memungkinkan siswa belajar dengan kecepatan mereka sendiri (Ambayon, 2020). Modul yang berkualitas perlu memperhatikan beberapa hal, antara lain instruksi mandiri, mandiri, berdiri sendiri, dan konsistensi dalam penulisan yang jelas (Leem et al., 2006). Dalam penelitian ini, modul pembelajaran dirancang berdasarkan tiga prinsip Realistic Mathematics Education (RME) yaitu penemuan terbimbing dan matematisasi berjenjang (*guided reinvention and progressive mathematization*), fenomenologi didaktik (*didactic phenomenology*), dan model dikembangkan sendiri oleh siswa (*self-developed models*). Pembelajaran melalui RME diawali dengan masalah yang real yang bersifat non-rutin sehingga siswa tertantang atau termotivasi untuk menyelesaikannya dengan strategi mereka sendiri (Gravemeijer, 1994; Van den Heuvel-Panhuizen & Drijvers, 2014). Pembelajaran matematika menjadi bermakna ketika siswa dapat secara aktif menghubungkan dan menerapkan materi pembelajaran dengan konteks yang mereka kenal dalam kehidupan sehari-hari atau yang dapat mereka bayangkan (Drake, 2007).

Tim dosen pada Pusat Riset dan Pengembangan Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PRP-PMR) Universitas Syiah Kuala telah merancang tes diagnostik, pembelajaran remedial, dan e-modul. Makalah ini mengkaji hasil pengembangan GetMath dan dampaknya terhadap siswa.

II. PEMANFAATAN TEKNOLOGI BERBASIS *REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION*

2.1 Teknologi dalam Pembelajaran Matematika

Abad 21 mengalami globalisasi dengan perkembangan teknologi yang pesat (Aslamiah, Abbas, & Mutiani, 2021). Perkembangan teknologi memberikan pengaruh yang besar pada aspek pendidikan, terutama pada minat dan motivasi dalam pembelajaran (Agustinah & Indriyani, 2019). Perkembangan ini menuntut pembelajaran menggunakan teknologi, salah satunya adalah pembelajaran melalui aplikasi atau platform.

Dalam pembelajaran matematika, peran teknologi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran mendapat perhatian yang serius dari para peneliti. Salah satu contohnya, International Congress of Mathematics Education (ICME) telah memilih penggunaan teknologi sebagai salah satu tema penting dalam konferensi yang diselenggarakan setiap 4 tahun. Bahkan, dua decade yang lalu, Goos et al. (2003) menyatakan teknologi memiliki peran sebagai media atau alat bantu dalam tahap mengembangkan dan menemukan pemahaman konseptual siswa tentang ide-ide matematika.

Penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika membuat representasi matematika menjadi dinamis dan membantu siswa dalam mengeksplorasi konten matematika (De Witte and Rogge, 2014). Selain itu, dengan menggunakan teknologi, memungkinkan siswa untuk melakukan penalaran deduktif (Mariotti, 2012), membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak dalam matematika dengan cara yang lebih konkret (Li & Ma, 2021) serta meningkatkan motivasi dan sikap positif siswa terhadap matematika (Higgins et al., 2019).

Penggunaan teknologi dalam pembelajaran memiliki peran penting dalam mengubah cara siswa belajar dan guru mengajar, terutama melalui penyediaan platform belajar digital yang komprehensif. Platform digital ini memungkinkan akses yang lebih mudah dan fleksibel, baik untuk pembelajaran mandiri maupun sebagai pendukung proses pembelajaran di kelas. Platform digital terbukti efektif dalam meningkatkan keterlibatan siswa dan membantu mereka memahami konsep-konsep kompleks dalam matematika (Mulqueeny et al., 2015).

Selain itu, integrasi e-learning, video pembelajaran, dan e-modul dalam pembelajaran memungkinkan pembelajaran yang lebih kaya dan bervariasi. E-learning memungkinkan siswa untuk mengakses materi pembelajaran kapan saja dan di mana saja sehingga sangat membantu mereka dalam pembelajaran jarak jauh maupun pembelajaran hybrid. Video pembelajaran, yang sering digunakan dalam platform e-learning, memberikan visualisasi yang lebih konkret dari konsep-konsep abstrak, sehingga dapat membantu siswa memahami materi dengan lebih baik. Cirneanu dan Moldoveanu (2024) menunjukkan bahwa penggunaan video dalam pembelajaran matematika dapat meningkatkan minat siswa terhadap matematika, karena materi disajikan dengan cara yang lebih menarik dan relevan dengan kehidupan sehari-hari.

E-modul sebagai bagian dari platform digital juga berfungsi sebagai sumber belajar yang memungkinkan siswa untuk mempelajari materi secara mendalam berdasarkan kecepatan mereka sendiri. Modul-modul ini dirancang

untuk memungkinkan siswa memahami konsep melalui pendekatan yang lebih terstruktur, dengan disertakan latihan dan contoh untuk meningkatkan pemahaman mereka. Dengan demikian, keberadaan platform belajar digital, video, dan e-modul menjadi krusial dalam mendukung pencapaian hasil belajar yang lebih optimal di era digital.

2.2 Realistic Mathematics Education (RME)

Pendekatan realistik yang lebih dikenal dengan *Realistic Mathematics Education* (RME) atau Pendidikan Matematika Realistik (PMR) merupakan pendekatan pembelajaran matematika yang menekankan pada penggunaan matematika dalam konteks nyata dan bermakna bagi peserta didik. Pendekatan ini dipelopori oleh tokoh ahli pendidikan matematika Belanda bernama Profesor Hans Freudenthal dari Institut Freudenthal Universiteit Utrecht Belanda (Johar & Hanum, 2016). Freudenthal mengatakan *mathematics as a human activity* (Gravemeijer, 1994), maksudnya matematika dipandang sebagai aktivitas manusia dalam mencari, mengorganisasikan, dan menyelesaikan masalah baik dalam pelajaran maupun di kehidupan nyata. Pembelajaran matematika menciptakan proses pembelajaran yang diawali dengan permasalahan yang nyata.

Kata realistik merujuk pada klasifikasi Treffers (1987) yang menganalisis pendekatan pembelajaran matematika, salah satunya pendekatan realistik. Kriteria yang menentukan klasifikasi ini diantaranya adalah matematisasi horizontal dan vertikal dalam proses pembelajaran. Matematisasi horizontal bertumpu pada proses transformasi masalah nyata ke dalam masalah matematika sedangkan matematisasi vertikal berkaitan dengan proses pengorganisasian kembali menggunakan matematika. Contoh matematisasi horizontal adalah mengidentifikasi, merumuskan, memvisualisasikan masalah dengan cara yang beragam. Contoh matematika vertikal adalah mempresentasikan kaitan rumus-rumus, menyesuaikan, menyederhanakan, menggunakan, dan merumuskan model matematika, serta menggeneralisasikan model tersebut.

2.3 Tes Diagnostik

Kata diagnosis memiliki arti sebagai upaya untuk mengidentifikasi dan menelusuri letak kelebihan maupun kelemahan spesifik dari suatu kinerja (Oriondo & Dallo-Antonio, 1984). Sementara diagnostik sendiri adalah ilmu untuk menentukan kelebihan maupun kelemahan yang dialami siswa dalam belajar dengan menyediakan istilah, alasan dan informasi spesifik. Beberapa tokoh mendefinisikan tes diagnostik sebagai suatu alat pengukuran yang digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan siswa dalam belajar, sehingga hasil belajarnya yang lemah dapat ditindak lanjuti (Mutmainna, Dian, Mania, & Sriyanti, 2018). Tes diagnostik sebagai tes yang mengidentifikasi masalah spesifik yang mungkin dihadapi siswa dan menentukan seberapa besar kesenjangan antara kemampuan awal siswa dan kemampuan yang diharapkan oleh guru (Weeden, Winter & Broadfoot, 2002).

Tes diagnostik tak hanya untuk mendiagnosis kelemahan maupun kelebihan siswa dalam belajar, tetapi juga dapat dipakai untuk mengkaji tentang kesulitan belajar siswa, misalnya kesalahan terhadap pemahaman konsep (Widoyoko, 2013). Dalam penelitian ini, tes diagnostik lebih mengarah pada mendiagnosis kelemahan siswa dalam penguasaan materi matematika saja. Tes diagnostik mengukur kemampuan dan keterampilan siswa saat ini (Campbell, Campbell, & Dickinson, 1996) sehingga penggunaan tes diagnostik dapat digunakan untuk penilaian dan pengukuran kemampuan siswa setelah berhenti sekolah begitu lama.

Tes diagnostik dapat dilakukan dengan memberi soal tes benar dan salah dengan pembetulan dan alasan terbuka atau soal tes pilihan ganda (Caleon & Subramaniam, 2010). Tes diagnostik berupa pilihan ganda dibagi menjadi beberapa bentuk, yaitu: tes diagnostik pilihan ganda satu tingkat (*one-tier*), dua tingkat (*two-tier*), tiga tingkat (*three-tier*), dan empat tingkat (*four-tier*). Ada beberapa keuntungan dari konsep tes diagnostik multi tingkat. Pertama, siswa mudah diatur; dan kedua, guru dapat menggunakannya untuk menilai pengetahuan serta proses pembelajaran siswa selama pengajaran (Caleon & Subramaniam, 2010). Selanjutnya, jenis tes diagnostik pada penelitian ini adalah pilihan ganda empat tingkat (*four-tier*), karena dalam tes diagnostik ini siswa diberikan beberapa kemungkinan jawaban untuk dijawab dengan alasan yang disertai level keyakinan dari setiap jawaban dan alasan sehingga dapat digunakan untuk mengukur adanya perbedaan tingkat pemahaman siswa (Fadhilatullathifi, Ardiyanto, Rahayu, Almukholani, Rinayah, & Rahmawati, 2020) terkait dengan operasi hitung.

2.4 Pembelajaran Remedial Berbasis e-learning

Pembelajaran remedial merupakan suatu layanan atau upaya memberikan bimbingan khusus bagi siswa yang mengalami hambatan saat belajar (Yanti et al., 2021). Siswa diharapkan dapat mencapai standar kompetensi yang ditentukan (Hariyanto & Mustafa, 2020), meningkatkan prestasi belajar dan mengembangkan diri secara optimal hingga mencapai ketuntasan minimal (Lidi, 2019).

Secara umum pembelajaran reguler maupun pembelajaran remedial memiliki tujuan yang sama, yaitu mencapai tujuan pembelajaran pada kompetensi yang ditetapkan. Pembelajaran remedial bertujuan khusus untuk membantu siswa yang mengalami kesulitan belajar dan memperbaiki prestasi belajarnya agar mencapai tingkat ketuntasan minimum. Tujuan lain dari pembelajaran remedial menurut (Nursobah, 2019) yaitu :

- a. Siswa bisa memahami dirinya sendiri, terutama terkait prestasi, kemampuan, kelemahan, kelebihan, dan kesulitan yang dimiliki.
- b. Siswa dapat memperbaiki dan mengubah cara belajarnya menjadi lebih baik yang cocok dengan kesulitan yang dialaminya.
- c. Siswa dapat menentukan materi yang belum dikuasai dan mendapat fasilitas belajar sesuai hambatan yang dialami secara tepat.
- d. Siswa dapat menyelesaikan dan mengatasi segala kesulitan yang dialami.
- e. Siswa dapat mengerjakan tugas pembelajaran yang diperolehnya untuk memperbaiki kekurangannya
- f. Dapat menumbuhkan sikap serta kebiasaan baru untuk mendapatkan hasil belajar yang lebih memuaskan.

Pembelajaran remedial berbasis e-learning yaitu suatu pembelajaran remedial yang memanfaatkan media elektronik dan jaringan internet dalam proses pelaksanaannya. Pembelajaran remedial secara daring dapat dilakukan melalui bantuan aplikasi, web, dan layanan konferensi video online (Yanti, Firman, & Sari, 2021). Pembelajaran remedial dengan berbasis e-learning berdampak pada peningkatan motivasi siswa dalam belajar sehingga pembelajaran akan lebih efektif dan tercapainya tujuan pembelajaran remedial. (Tampubolon, Muhaimin, & Ali, 2020). Pembelajaran remedial dengan menggunakan web, merupakan salah satu penggunaan e-learning yang memiliki efektivitas belajar yang tinggi, siswa juga dapat fokus dalam memilih materi yang dibutuhkan oleh siswa dalam memahami konsep belajar (Lin & Wang, 2017).

Penggunaan e-learning sebagai media untuk pembelajaran remedial sudah sangat diperlukan pada era saat ini. Program remedial untuk pembelajaran matematika sudah dikembangkan di berbagai negara di Eropa dan Taiwan yang memiliki pendidikan lebih unggul. Program remedial berbasis e-learning memiliki keunggulan (Sasalia et al., 2020) sebagai berikut:

- a. Program remedial dapat dilakukan dengan waktu dan tempat yang tidak terbatas.
- b. Membantu peserta didik menemukan solusi dari kesulitan yang dialami.
- c. Dapat meningkatkan pemahaman konsep pada suatu materi.
- d. Meningkatkan motivasi dan kepercayaan diri pada siswa untuk memperbaiki ketertinggalannya.
- e. Siswa dalam mengevaluasi diri terhadap kelemahan dan kesulitan belajar yang dialami secara pribadi.
- f. Dapat meningkatkan hasil belajar siswa.

2.5 Penggunaan Video dalam Pembelajaran Remedial Berbasis e-learning

Video pembelajaran adalah suatu gambar bergerak yang disertai dengan suara berisi materi untuk mencapai suatu tujuan pembelajaran (Hasiru et al., 2021). Penggunaan video dapat merangsang pendengaran dan penglihatan siswa agar lebih fokus, video juga dapat menyampaikan informasi dengan jelas (Siwi & Puspaningtyas, 2020). Selain itu, penggunaan video menjadikan siswa dapat mengingat materi lebih lama, meningkatkan pemahaman konsep, dan minat belajar (Hasiru et al., 2021). Sehingga, penggunaan video pada pembelajaran remedial dapat meningkatkan hasil belajar dan mencapai nilai ketuntasan (Mustofa, 2018).

Penggunaan video pembelajaran dapat memberikan banyak manfaat terhadap keterlibatan siswa saat pembelajaran berlangsung maupun proses pembelajaran itu sendiri. Menurut Brame (2016) terdapat tiga komponen utama untuk memaksimalkan manfaat dari video pembelajaran. Ketiga komponen tersebut adalah beban kognitif, indikator yang mempengaruhi keterlibatan siswa, dan indikator yang mendorong pembelajaran aktif. Adapun kriteria video pembelajaran yang baik menurut Brame (2016) sebagai berikut:

- a. Video sesuai dengan materi yang dipelajari.
- b. Mengintegrasikan pertanyaan ke dalam video.
- c. Menggunakan pertanyaan membimbing peserta didik.
- d. Memuat kata kunci untuk bagian penting.
- e. Menggunakan warna atau kontras untuk menekankan hubungan antar informasi.
- f. Memuat penjelasan singkat tentang tujuan dan konteks video.
- g. Menghindari musik.
- h. Menghindari latar belakang kompleks.
- i. Menggunakan animasi.
- j. Membuat beberapa video untuk 1 topik (durasi maksimal 6 menit).
- k. Melibatkan peserta didik dalam video dengan menyebut "kamu".
- l. Berbicara sebanyak 185–254 kata-kata per menit.
- m. Ekspresi dari suara narator bersikap gembira.

2.6 E-Modul

E-Modul adalah bentuk penyajian bahan belajar mandiri dalam format elektronik yang disusun secara sistematis ke dalam unit pembelajaran tertentu dengan tautan (link) sebagai navigasi setiap kegiatan pembelajaran didalamnya yang membuat peserta didik menjadi interaktif dengan fitur *E-Modul* serta dilengkapi pemuatan

video, animasi dan audio untuk memperkaya pengalaman belajar. Dengan *E-Modul* siswa dapat belajar tidak terbatas di sekolah bersama guru, melainkan bebas dimanapun dan kapanpun untuk mengembangkan pemahamannya terhadap pelajaran. *E-Modul* dapat dijadikan alternatif untuk mendorong siswa membaca buku karena menggunakan teknologi HP atau laptop untuk membuka dengan penyajian fitur yang menarik dan tidak monoton.

E-Modul memiliki karakter yang membedakan antara bahan ajar dalam bentuk modul dengan bahan ajar yang lain. Menurut Kemendikbud (2017), Fahrurrozi dan Mohzana (2020) dan Najuah, Lukitoyo dan Wirianti (2020) mengemukakan beberapa karakteristik *E-Modul* yang diantaranya :

a. *Self Instructional* (Belajar mandiri)

Modul disusun sedemikian rupa yang memuat kajian materi, tujuan pembelajarn, media yang mendukung pemahaman, latihan soal, dan rangkuman dengan penggunaan bahasa yang sederhana agar siswa dapat belajar secara individu (mandiri).

b. *Self Containde* (Utuh)

Modul disusun menjadi satu kesatuan yang tidak terpisahkan atau utuh untuk mencapai kompetensi tertentu agar siswa dapat mempelajari materi secara tuntas.

c. *Stand Alone* (Berdiri Sendiri)

Dalam penggunaan modul, tidak bergantung pada media lain atau tidak mengharuskan siswa membuka media lain untuk dapat membuka *E-Modul*.

d. Adaptif

Modul sebaiknya dapat beradaptasi dengan perkembangan teknologi, menyesuaikan dengan materi dan flexibel dalam penggunaannya.

e. *User Friendly* (Mudah Digunakan)

Modul diharapkan dikembangkan dengan fitur yang mudah dalam pengoperasian, petunjuk penggunaanya mudah dimengerti dan penyampaian bahasa yang komunikatif.

III. PENERAPAN TEKNOLOGI BERBASIS RME

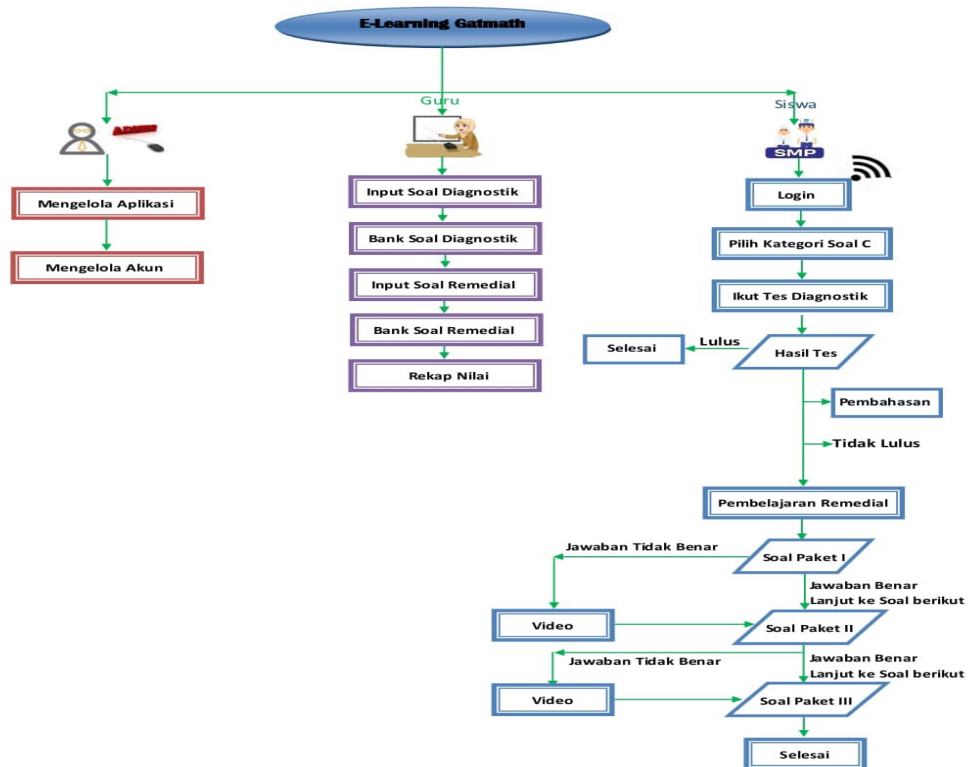
3.1 Platform GetMath

Aplikasi GetMath atau platform GetMath merupakan *software* berbasis *web* dan *mobile* yang dikembangkan bagi guru dan siswa dalam mempelajari matematika oleh tim peneliti pada Pusat Riset dan Pengembangan Pendidikan Matematika Realistik Indonesia (PRP-PMRI) Universitas Syiah Kuala bekerjasama dengan PT. Global Tekno IDE, sejak tahun 2022. Aplikasi ini menyediakan bantuan belajar matematika bagi siswa untuk mendapatkan pemahaman, penalaran, dan penerapan matematika berbasis realistik yang mengacu pada peningkatan numerasi siswa. Aplikasi GetMath mengadopsi model *adaptive learning* sehingga dapat mengukur *learning loss* siswa pada setiap matematika pembelajaran. Aplikasi GetMath dapat diakses menggunakan berbagai *browser* seperti Chrome, Mozilla Firefox, dan lainnya dengan menggunakan alamat *url* <https://getmath.id/dashboard/>.



Gambar 1. Halaman Login Platform GetMath.id

Berbagai keunggulan dari aplikasi ini diantaranya memiliki fitur tes diagnostik, program remedial, dan e-modul yang dapat diakses oleh guru dan siswa secara *real time*. Program remedial dalam aplikasi ini dilengkapi dengan video penjelasan tentang konsep yang terkait dengan menggunakan pendekatan RME.



Gambar 1. Flowchart Proses Tes Diagnostik dan Remedial pada Platform GetMath

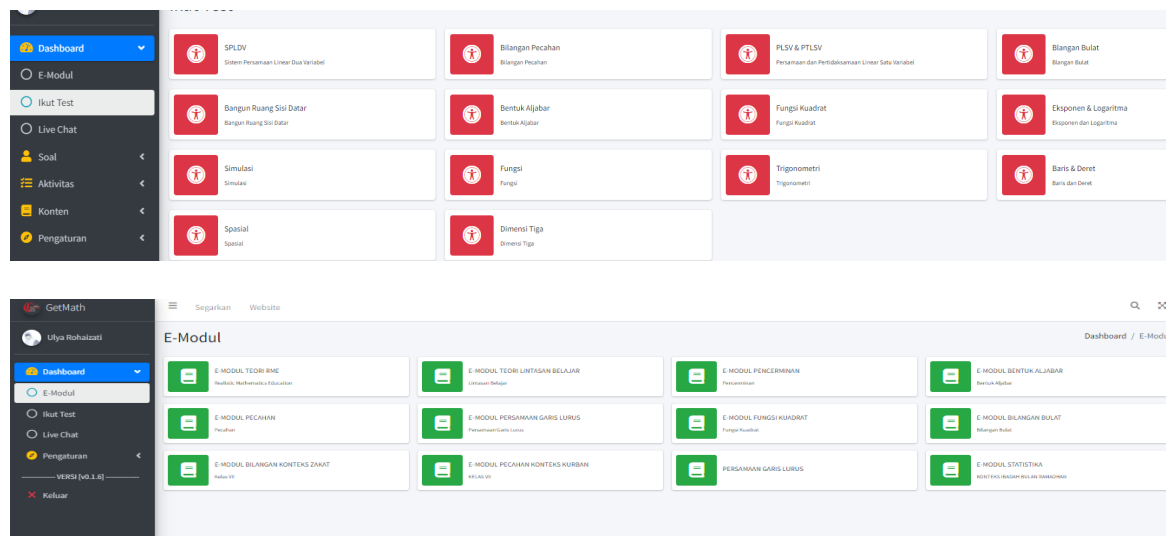
Berdasarkan Gambar 1, siswa menjawab soal tes diagnostik, selanjutnya siswa yang dinyatakan tidak lulus tes diagnostik mengikuti pembelajaran remedial. Ada tiga Paket Soal dalam pembelajaran remedial. Siswa mulai mengerjakan soal nomor 1 Paket I. Jika jawaban siswa benar maka siswa mengerjakan soal nomor 2. Namun jika jawaban siswa salah maka akan ditampilkan video remedial sesuai indikator soal. Video ini menjelaskan tentang konsep dan penggunaannya dalam menyelesaikan soal matematika berbasis RME. Setelah menonton video tersebut, sistem akan menampilkan soal nomor 1 dari paket II yang setara dengan soal sebelumnya. Jika siswa masih gagal, akan muncul video dan akan ditampilkan soal nomor 1 dari paket III. Jika siswa masih menjawab salah, maka skor siswa adalah 0 untuk soal ini dan tidak ada kesempatan untuk mengulang. Proses ini akan berlanjut ke soal nomor 10. Nilai siswa muncul pada akhir pembelajaran remedial sehingga diperoleh informasi apakah mereka mencapai ketuntasan atau tidak. Secara lengkap produk yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Produk yang dikembangkan pada Platform GetMath Tahun 2022-2024

Jenjang	Tes diagnostik	Pembelajaran Remedial	E-Modul berbasis RME
SMP	Bilangan Bulat	Bilangan bulat	E-modul bilangan bulat
	Pecahan	Pecahan	E-modul pecahan
SMA	Persamaan linear satu variabel	Persamaan linear satu variabel	E-modul bentuk aljabar
	Bentuk Aljabar	Bentuk Aljabar	E-modul fungsi kuadrat
	Bangun ruang sisi datar	Bangun ruang sisi datar	E-modul persamaan garis lurus
	SPLDV	SPLDV	E-modul transformasi
	PLSV & SPLTV	PLSV & SPLTV	E-modul pecahan konteks kurban
	Fungsi Kuadrat	Fungsi Kuadrat	E-modul bilangan konteks zakat
	Bangun Datar	Spasial	E-modul statistika konteks ibadah Ramadhan
			E-modul bilangan bulat (Berdiferensiasi)
			E-modul pecahan (Berdiferensiasi)
			E-modul bentuk aljabar (Berdiferensiasi)
SMA	Eksponen dan Logaritma	Eksponen dan Logaritma	
	Barisan dan Deret	Barisan dan Deret	
	Fungsi	Fungsi	
	Trigonometri	Trigonometri	
	Dimensi tiga	Dimensi Tiga	

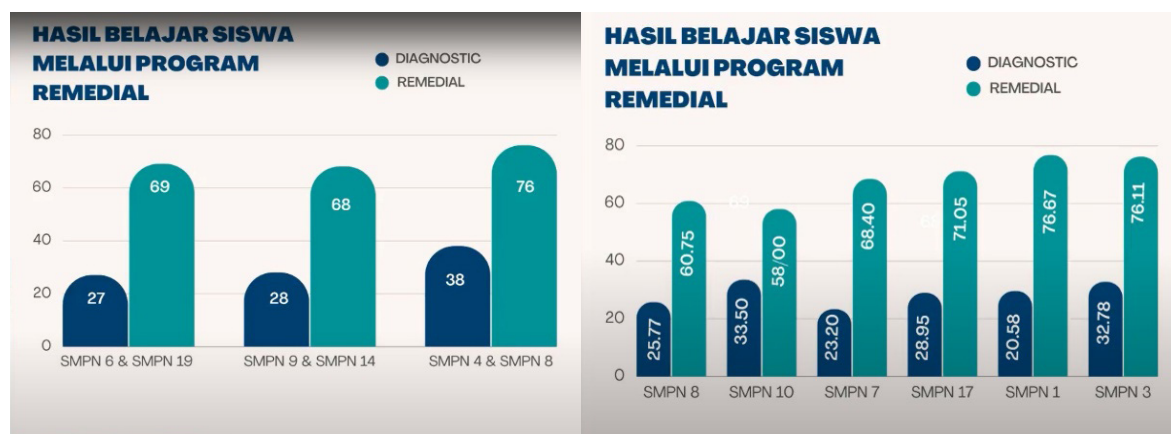
Produk di atas diperoleh melalui Penelitian Pengembangan menggunakan model Plomp (2013) yang memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif melalui dukungan dana Hibah dari Universitas Syiah Kuala maupun dari Kemdikbudristek. Aplikasi GetMath versi web maupun versi mobile serta e-modul telah mendapatkan sertifikat hak kekayaan intelektual (HKI), sehingga memiliki nilai lisensi yang akurat.

Tampilan materi tes diagnostik dan e-modul pada GetMath dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



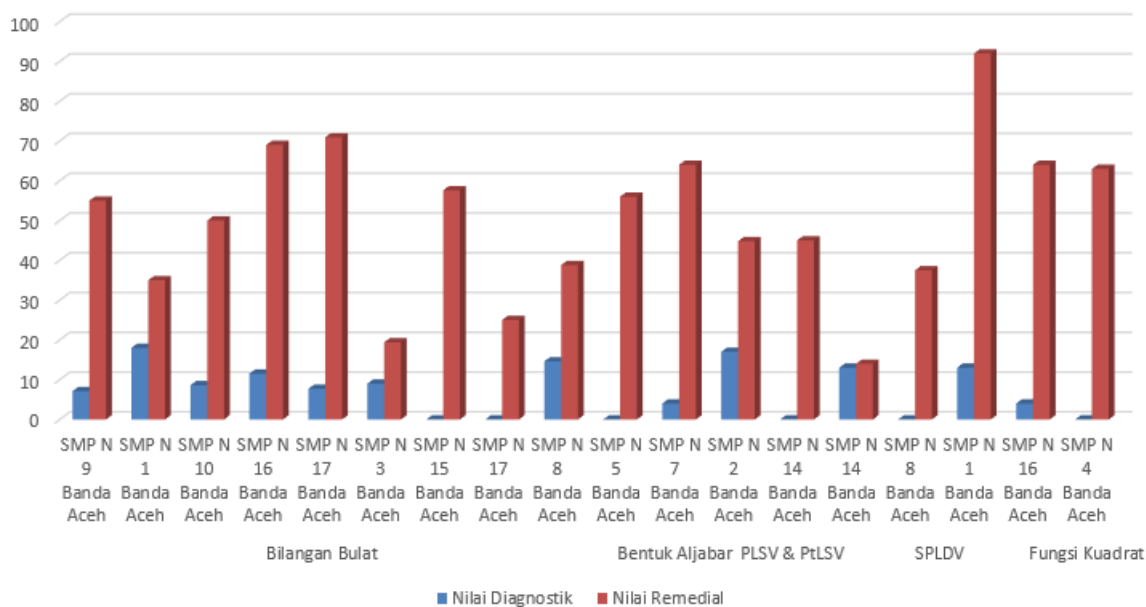
Gambar 2. Tampilan materi Tes Diagnostik dan E-Modul pada Platform GetMath

Pada tahun 2022 platform GetMath sudah digunakan oleh 507 siswa SMP di Kota Banda Aceh untuk tes diagnostik yang dilanjutkan dengan pembelajaran remedial. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan hasil belajar siswa, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Belajar Siswa pada Tes Diagnostik dan Setelah Pembelajaran Remedial Tahun 2022

Pada tahun 2023 platform GetMath sudah digunakan oleh 456 siswa SMP di Kota Banda Aceh untuk tes diagnostik yang dilanjutkan dengan pembelajaran remedial. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan hasil belajar siswa, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Belajar Siswa pada Tes Diagnostik dan Setelah Pembelajaran Remedial Tahun 2022

3.2. Publikasi berkaitan dengan GetMath

Beberapa makalah terkait GetMath sudah dipublikasikan pada prosiding konferensi internasional, jurnal nasional, dan internasional. Lestari, Johar, Mailizar, Ridho (2023) mengidentifikasi *learning loss* pecahan dan menyelidiki reliabilitas dan validitas tes diagnostik model DINA. Penelitian ini melibatkan 177 siswa kelas 8 dari enam sekolah menengah pertama di Banda Aceh, Indonesia, untuk memperoleh informasi tentang validitas dan reliabilitas tes diagnostik dan *learning loss* pecahan akibat COVID-19. Penelitian dilakukan dengan tahapan merancang tes diagnostik, validasi ahli, dan uji empiris. Soal yang dikembangkan adalah pilihan ganda jenis *polytomous*. Penelitian ini menghasilkan 20 soal yang valid berdasarkan tingkat diskriminan butir soal, kesukaran butir soal, dan slip dan tebakan, dengan reliabilitas 0,899. Penelitian ini mengungkapkan bahwa *learning loss* dialami oleh 62 siswa dari SMP tingkat rendah (100%), 51 siswa dari SMP tingkat menengah (98%), dan 54 siswa dari SMP tingkat tinggi (85,7%). Dapat dikatakan bahwa sekolah tingkat rendah mempunyai persentase siswa yang mengalami gangguan belajar paling tinggi. Disarankan bagi penelitian selanjutnya untuk mengevaluasi keefektifan tes diagnostik dalam mengidentifikasi kelemahan pembelajaran matematika sebelum ujian semester dengan menggunakan item-item yang dihasilkan dalam penelitian ini.

Diarni, Ikhsan, Zaura, Johar, dan Mailizar (2023) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui profil pemahaman matematis siswa melalui tes diagnostik ditinjau dari kecerdasan majemuk. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan populasi seluruh siswa di salah satu SMP di Banda Aceh, Indonesia, dan sampelnya adalah 44 siswa yang dipilih secara purposive sampling. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan angket kecerdasan ganda dan tes pemahaman matematis. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa dengan kecerdasan logika matematis mampu mendefinisikan konsep secara verbal, menafsirkan, mengidentifikasi, dan membedakan konsep; siswa yang memiliki kecerdasan linguistik, naturalistik, dan eksistensial mampu mendefinisikan konsep secara verbal,

menafsirkan, dan membedakan konsep; siswa dengan kecerdasan musikal dan kinestetik mampu mendefinisikan konsep secara verbal dan menafsirkan konsep; siswa dengan kecerdasan spasial mampu menafsirkan, mengidentifikasi, dan membedakan konsep; dan siswa dengan kecerdasan interpersonal mampu menafsirkan dan membedakan konsep. Implikasi dari penelitian ini adalah guru perlu memahami dan menyadari bahwa kecerdasan majemuk siswa merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan dalam penyampaian materi kelas untuk meningkatkan pemahaman matematika siswa.

Hidayat, Zubaidah, Munira, dan Elizar (2023) melakukan penelitian untuk menyelidiki berbagai jenis kesalahan yang dilakukan oleh siswa sekolah menengah pertama siswa di Banda Aceh, Indonesia, dalam menyelesaikan masalah geometri bidang menggunakan tes diagnostik berbasis e-learning. Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kualitatif terhadap 24 siswa kelas 8 sebagai subjek. Pengumpulan data dilakukan melalui tes dan wawancara, serta data analisisnya meliputi reduksi data, penyajian data, verifikasi data, dan penggambaran kesimpulan. Temuannya mengungkapkan bahwa persentase kesalahan siswa dalam menyelesaikan masalah soal konseptual, soal pokok, dan soal verbal sebanyak 76,39%, 68,75%, dan masing-masing 75%. Selanjutnya hasil tes kedua dan wawancara dengan enam orang siswa menunjukkan bahwa siswa menemui beberapa kesalahan konseptual, termasuk kesalahan dalam menyatakan simbol sudut, kesalahan dalam mengidentifikasi jenis bentuk yang diberikan, kesalahan dalam menyimpulkan informasi mengenai sifat-sifat, keliling, dan luas bidang geometri, kurangnya pengetahuan mengenai penerapan rumus geometri bidang yang sesuai, dan ketidakmampuan menyelesaikannya permasalahan dengan menggunakan prosedur yang benar. Kesalahan utama terkait dengan operasi aljabar, sedangkan kesalahan verbal melibatkan masalah penerjemahan dan penerapan konsep dan yang tidak tepat prinsip. Pemahaman tentang jenis-jenis kesalahan akan membantu guru mendeteksi kesalahan yang dilakukan siswa lebih awal.

Cut, Johar, dan Mailizar (2023) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pembelajaran remedial berbasis e-learning pada topik pecahan terhadap hasil belajar pada materi pecahan dan mengkaji peningkatan hasil belajar siswa melalui pembelajaran remedial berbasis e-learning pada topik pecahan di SMP Banda Aceh. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental menggunakan pendekatan kuantitatif desain one-group pretest-posttest. Populasi penelitian ini adalah seluruh siswa kelas VIII di Banda Aceh dengan sampelnya adalah siswa kelas VIII di empat SMP yang nilai pretest belum mencapai nilai KKM 60. Instrumen yang digunakan berupa soal tes diagnostik dan soal remedial pada topik materi pecahan. Data hasil tes diagnostik dan remedial dianalisis dengan SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan pembelajaran remedial berbasis e-learning pada topik pecahan terhadap hasil belajar siswa SMP di Banda Aceh dan pembelajaran remedial berbasis e-learning pada topik pecahan dapat meningkatkan hasil belajar siswa. Implikasi dari penelitian ini adalah guru dapat melaksanakan pembelajaran remedial berbasis e-learning topik pembelajaran lainnya, sehingga mempunyai alternatif pemecahan masalah pelaksanaan pembelajaran remedial di luar pembelajaran matematika.

Johar, Moulina, Mailizar, Lestari, dan Away (2023) mengembangkan video remedial berbasis e-learning pada materi pecahan. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan model ADDIE yaitu analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Subyek penelitian ini adalah siswa kelas 8 SMP dari tiga jenjang sekolah di Banda Aceh, Indonesia. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan lembar validasi video, angket respon siswa, dan tes remedial. Hasil penelitian menunjukkan video remedial berbasis e-learning valid berdasarkan penilaian ahli, praktis karena siswa memberikan respon positif dan efektif karena N-Gain persentase

siswa mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) pada tes diagnostik dan tes remedial sebesar 0,5, pada kategori sedang.

Suhartati, Balqis, Zubainur, Johar, dan Rohaizati (2024) mengembangkan perangkat pembelajaran digital dengan pendekatan matematika realistik untuk mengajarkan bilangan bulat di sekolah menengah pertama. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang mengikuti tahapan Plomp, yang terbatas pada tahap penelitian pendahuluan dan pengkajian. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembar validasi dan perangkat digital lembar keterbacaan, yang terdiri dari video, e-modul, liveworksheet, dan post-test. Perangkat digital divalidasi oleh ahli dan diuji pada 30 kelas 7 siswa di SMP di Banda Aceh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa digital alat pembelajaran melalui RME untuk pengajaran bilangan bulat untuk SMP siswa memenuhi kriteria valid. Perangkat yang memenuhi kriteria valid ini maka diperlukan untuk diuji kepraktisan dan keefektifannya.

Johar, Syahfitri, Idami, Suhartati, Zai, Ikhsan, dan Rohaizati (2024) mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis website dengan konteks islami sangat untuk meningkatkan kemampuan komunikasi matematika. Perangkat pembelajaran yang dikembangkan adalah e-modul berisi liveworksheet, video, dan penilaian. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan mengikuti tahapan Plomp khususnya pada tahap prototyping dan tahap penilaian. Sumber data merupakan hasil validasi dari tiga orang ahli. Teknik analisis data yang dilakukan adalah dengan menghitung rata-rata skor validitas ketiga ahli. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran statistika berbasis website dengan konteks Islami memenuhi validitas kriteria. Perangkat pembelajaran yang dikembangkan perlu dilanjutkan pada tahap uji kepraktisan dan efektivitas.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan teknologi dalam pembelajaran membantu guru untuk meningkatkan motivasi siswa dalam belajar matematika sehingga dapat meningkatkan hasil belajar siswa. Penelitian ini mengembangkan Platform pembelajaran yang dinamakan GetMath.id yang memuat tes diagnostik berbasis e-learning, pembelajaran remedial berbasis e-learning berbantuan video, dan e-modul. Berdasarkan penerapan platform tersebut di SMPN di Banda Aceh disimpulkan bahwa platform GetMath.id dapat membantu siswa belajar. Disarankan penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk menguji pemanfaatan Platform GetMath.id dalam skala yang lebih luas.

V. ACKNOWLEDGMENT

Terimakasih kepada Universitas Syiah Kuala dan DRTPM Kemdikbudristek yang telah memberikan hibah untuk pelaksanaan penelitian terkait penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika berbasis realistic mathematics education, yaitu Penelitian Profesor Nomor: 141/UN11/SPK/PNBP/2022, Penelitian Penugasan Pusat Riset Kategori A Nomor: 391/UN11/SPK/PNBP/2022, Penelitian Tesis Magister Nomor: 145/E5/PG.02.00.PT/2022, Penelitian Dasar Kompetitif Nasional Nomor: 43/UN11.2.1/PT.01.03/DRPM/2022 dan Nomor: 062/E5/PG.02.00.PL/2023, Penelitian Profesor Nomor: 22/UN11.2.1/PT.01.03/PNBP/2023, dan Penelitian Penugasan Pusat Riset Kategori A Nomor: 602/UN11.2.1/PT.01.03/PNBP/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinah, S. W., & Indriyani, D. (2019). Dampak globalisasi terhadap perilaku belajar siswa di SMK Negeri 1 Cianjur. *Integralistic*, 53-61.
- Alabdulaziz, M. S. (2021). COVID-19 and the use of digital technology in mathematics education. *Education and Information Technologies*, 26(6), 7609–7633. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10602-3>.
- Ambayon, E. (2020). Modular-based approach and student's achievement in literature. *International Journal of Education and Literary Studies*, 8(3). <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v8n.3p.32>
- Aslamiah, Abbas, E. W., & Mutiani. (2021). 21st Century Skills and Social Studies Education. *The Innovation of Social Studies Journal*, 82-92.
- Brame, C. J. (2016). Effective educational videos: Principles and guidelines for maximizing student learning from video content. *CBE Life Sciences Education*, 15(6), 1–6. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-03-0125>
- Caleon, I. S. & Subramaniam, R. (2010). Do students know what they know and what they don't know? using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. *Res Sci Edu*, 40, 313-337.
- Campbell, L., Campbell, B., & Dickinson, D. (1996). *Pengajaran & belajar melalui kecerdasan ganda*. Ketinggian Needham.
- Cirneanu, A. L., & Moldoveanu, C. E. (2024). Use of Digital Technology in Integrated Mathematics Education. *Applied System Innovation*, 7(4), 66.
- Cut, S. S., Johar, R., & Mailizar, M. (2023). The effect of an e-learning-based remedial program on students' learning outcomes: The case of Fraction. *International Journal of Trends in Mathematics Education Research*, 6(2), 118-124.
- Dashtestani, R., & Hojatpanah, S. (2022). Digital literacy of EFL students in a junior high school in Iran: Voices of teachers, students, and Ministry Directors. *Computer Assisted Language Learning*, 35(4), 635–665. <https://doi.org/10.1080/09588221.2020.1744664>.
- De Witte, K. & Rogge, N. 2014. Does ICT matter for effectiveness and efficiency in mathematics education? *Computers & Education*, 75, 173-184
- Diarni, I. M., Ikhsan, M., Zaura, B., Johar, R., & Mailizar, M. (2023). Profile of students' mathematical understanding through diagnostic tests viewed from multiple intelligences. *Jurnal Didaktik Matematika*, 10(1), 77-92.
- Drake, Pat. (2005). *A case of learning mathematics the hard way as a teaching assistant*. *Research in Mathematics Education*, 7(1), 19–31. doi:10.1080/14794800008520143.
- Fadhilatullathifi, Z. N., Ardiyanto, B., Rahayu, D. D., Almukholani, T., Rinayah, I., & Rahmawati, F. (2020). Four-tier diagnostic test method to identify conceptual understanding in calculus. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1613(1).
- Fahrurrozi, M., & Mohzana, H. (2020). *Pengembangan perangkat pembelajaran tinjauan teoretis dan praktik*. Selong: Universitas Hamzanwadi Press.
- Gravemeijer, K. P. E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Netherland: Technipress.
- Goos, M., Galbraith, P., Renshaw, P. & Geiger, V. 2003. Perspectives on technology mediated learning in secondary school mathematics classrooms. *The Journal of Mathematical Behavior*, 22, 73-89.
- Hariyanto, E., & Mustafa, P. S. (2020). *Pengajaran remedial dalam pendidikan jasmani* (Mashud (ed.); 2nd ed.). Lambung Mangkurat University Press.
- Hasiru, D., Badu, S. Q., & Uno, H. B. (2021). Media-media pembelajaran efektif dalam membantu pembelajaran matematika jarak jauh. *Jambura Journal of Mathematics Education*, 2(2), 59– 69. <https://doi.org/10.34312/jmathedu.v2i2.10587>
- Hidayat, M., Zubaidah, T., Ulfa, M., & Elizar, E. (2023). Students' errors in solving plane geometry problems using e-learning-based diagnostic tests. *Jurnal Didaktik Matematika*, 10(1), 93-110.
- Higgins, K., Huscroft-D'Angelo, J. & Crawford, L. 2019. Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 57, 283-319.

- Johar, R., & Hanum, L. (2016). *Strategi belajar mengajar untuk menjadi guru yang profesional*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Johar, R., Moulina, A. R., Lestari, M., & Away, Y. (2024). Development of e-learning based remedial videos on fractions in middle school. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 18(1), 97-112.
- Johar, R., Syahfitri, M., Suhartati, S. A. Y. Z., Ikhsan, M., Idami, Z., & Rohaizati, U. (2024, March). Validity of website-based statistical learning tools with an islamic context to improve student mathematical communication. In *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (2nd AICMSTE)* (Vol. 828, p. 53). Springer Nature.
- Kemendikbud. (2017). *Panduan praktis penyusun e-modul pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMA. Ditjen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Lestari, M., Johar, R., Mailizar, M., & Ridho, A. (2023). Measuring learning loss due to disruptions from COVID-19: Perspectives from the concept of fractions. *Jurnal Didaktik Matematika*, 10(1), 131-151.
- Lidi, M. W. (2018). Pembelajaran remedial sebagai suatu upaya dalam mengatasi kesulitan belajar. *Foundasia*, 9(1), 15–26. <https://doi.org/10.21831/foundasia.v9i1.26158>.
- Li, Q., & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22(3), 215-243.
- Lin, C. Y., & Wang, T. H. (2017). Implementation of personalized e-assessment for remedial teaching in an e-learning environment. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(4), 1045–1058. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00657a>.
- Mariotti, M. A. 2012. Proof and proving in the classroom: Dynamic Geometry Systems as tools of semiotic mediation. *Research in Mathematics Education*, 14, 163-185
- Mulqueeney, K., Kostyuk, V., Baker, R. S., & Ocumpaugh, J. (2015). Incorporating effective e-learning principles to improve student engagement in middle-school mathematics. *International Journal of STEM Education*, 2, 1-14.
- Mustofa, Z. (2018). The effect of interactive multimedia in remedial learning to improve physics learning achievement [in Bahasa]. *Jurnal Teknodik*, 22(2), 121–132. <https://doi.org/10.32550/teknodik.v0i0.329>
- Mutmainna., Dian., Mania, S., & Sriyanti, A. (2018). *Pengembangan instrumen tes diagnostik pilihan ganca dua tingkat untuk mengidentifikasi pemahaman konsep matematika*. Available from: DOI: <https://doi.org/10.24252/mapan.2018v6n1a6>.
- Najuah, Lukitoyo, P. S., & Wirianti, W. (2020). *Modul elektronik: prosedur penyusunan dan aplikasinya*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Nursobah, A. (2019). *Perencanaan pembelajaran MI/SD* (Aflahah (ed.)). Duta Media Publishing.
- Oriundo, L. L., & Dallo-Antonio, E. M. (1984). *Evaluating educational outcomes: tests, measurement and evaluation*. Rex Book Store
- Perifanou, M., Economides, A. A., & Tzafilkou, K. (2021). Teachers' digital skills readiness during COVID-19 Pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16(08), 238. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i08.21011>.
- Plomp, T. & Nieveen, N. (2013). *Educational design research*. Enchede: Netherlands Institute for curriculum development.
- Sasalia, P., Abidin, S. T. F., & Mailizar. (2020). Senior high schools teachers and students' needs for the e-learning in a remedial program of mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(3), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/3/032046>
- Siwi, F., & Puspaningtyas, N. D. (2020). Application of cognitive learning media in straight line equation material using video in the 4.0 era [in bahasa]. *Jurnal Ilmiah Matematika Realistik*, 1(1), 7–10. <https://doi.org/10.33365/ji-mr.v1i1.251>
- Suhartati, S. B., Zubainur, C. M., Johar, R., & Rohaizati, U. (2024). Validity of digital learning devices through realistic mathematics education for teaching integer number at junior high school. In *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (2nd AICMSTE)* (Vol. 828, p. 148). Springer Nature.

- Tampubolon, S. E., Muhaimin, M., & Ali, M. (2020). Efektivitas pembelajaran remedial secara daring terhadap hasil belajar mata pelajaran matematika siswa SDK Bina Kasih Jambi. *Jurnal Pendidikan Tematik*, 5(2), 40–56.
- Treffers, A. (1987). *Three dimensions a model of goal and theory description in mathematics education*. Dordrecht: Reidel, The Wiscobas Project.
- Tsankov, N., & Damyanov, I. (2017). Education majors' preferences on the functionalities of elearning platforms in the context of blended learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 12(05), 202. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6971>.
- Turhan, M., G., & Açık Demirci, I. (2021). What are the 21st-century skills for pre-service science and mathematics teachers: Discussion in the context of defined 21st-century skills, selfskills and education curricula. *Journal of Educational Issues*, 7(1), 92. <https://doi.org/10.5296/jei.v7i1.18278>.
- Van den Heuvel-Panhuizen M, Drijvers P (2020). Realistic mathematics education. In: Lerman S (ed) Encyclopedia of mathematics education. Springer, Cham, pp 713– 717. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_170.
- Weeden, P., Winter, J., & Broadfoot, P. (2002). *Assessment*. Psychology Press.
- Widoyoko, S. E. P. (2013). *Evaluasi program pembelajaran: panduan praktis bagi pendidik dan calon pendidik*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Yanti, Y., Firman, F., & Sari, A. P. (2021). Efektivitas pembelajaran remedial secara daring pada masa belajar dari rumah di SMA Negeri 1 Majene. *Saintifik: Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, 7(2), 112–117. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v7i2.332>

DEMOKRASI LOKAL DAN PEMERINTAHAN BERSYARIAT: STUDI KASUS QANUN LEMBAGA KEUANGAN SYARIAH DI ACEH

Wais Alqarni¹, Mahdi Syahbandir²

¹Prodi Ilmu Pemerintahan, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Syiah Kuala

²Prodi Ilmu Hukum, Fakultas Hukum, Universitas Syiah Kuala

Penulis korespondensi: waisalqarni@usk.ac.id

RINGKASAN

Aceh, sebagai daerah dengan otonomi khusus, menerapkan hukum Islam melalui UU Pemerintahan Aceh No. 11 Tahun 2006, yang memungkinkan penerapan syariat Islam dalam kehidupan sosial dan ekonomi. Salah satu implementasi nyata adalah Qanun Lembaga Keuangan Syariah (LKS) yang mengatur lembaga keuangan agar sesuai dengan prinsip-prinsip Islam, seperti larangan riba dan transaksi yang adil. Qanun ini bertujuan meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keuangan syariah dan mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan. Partai politik lokal di Aceh, terutama Partai Aceh, berperan penting dalam menggagas dan meloloskan Qanun LKS melalui proses politik yang melibatkan masyarakat dan lembaga keagamaan. Demokrasi lokal di Aceh tercermin dari partisipasi masyarakat dalam proses legislasi, seperti pemilihan kepala daerah (Pilkada), yang meningkatkan legitimasi kebijakan. Namun, tantangan demokrasi lokal di Aceh muncul dari pembatasan ruang politik dan intervensi eksternal. Pemerintahan bersyariat di Aceh bertujuan menciptakan keadilan sosial dan moral, dengan Qanun LKS sebagai contoh integrasi nilai-nilai Islam dalam ekonomi. Implementasi Qanun LKS telah meningkatkan akses masyarakat terhadap produk keuangan syariah, namun masih menghadapi tantangan dalam penegakan hukum dan pemahaman masyarakat tentang produk-produk syariah. Untuk meningkatkan efektivitas Qanun LKS, diperlukan edukasi yang lebih baik tentang keuangan syariah, pengawasan yang lebih ketat, serta partisipasi aktif masyarakat. Keberhasilan ini menunjukkan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, partai politik lokal, dan lembaga keuangan syariah untuk mendukung demokrasi lokal dan pemerintahan bersyariat di Aceh.

I. PENDAHULUAN

Aceh sebagai salah satu daerah dengan status otonomi khusus di Indonesia, memiliki kekhasan dalam penerapan hukum Islam dalam sistem pemerintahan dan kehidupan sehari-hari masyarakatnya (A Rahman et al., 2024). Sejak diberlakukannya UU Pemerintahan Aceh No. 11 Tahun 2006, Aceh memiliki kewenangan untuk menerapkan syariat Islam sebagai bagian dari hukum daerah. Ini tidak hanya mencerminkan identitas lokal tetapi juga menjadi mekanisme penting dalam pengaturan sosial dan ekonomi. Penerapan syariat Islam di Aceh telah menjadi bagian

integral dari kehidupan masyarakat Aceh, mempengaruhi berbagai aspek mulai dari hukum pidana hingga ekonomi (Yunus et al., 2023). Pemerintahan bersyariat di Aceh berupaya untuk menciptakan tatanan masyarakat yang adil dan sejahtera berdasarkan nilai-nilai Islam. Salah satu bentuk nyata dari penerapan syariat ini adalah melalui Qanun Lembaga Keuangan Syariah (LKS), yang bertujuan untuk mengatur lembaga keuangan agar sesuai dengan prinsip-prinsip Islam.

Qanun LKS merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa semua aktivitas keuangan di Aceh sesuai dengan hukum Islam, yang melarang praktik riba dan mendorong transaksi yang adil dan transparan. Implementasi Qanun LKS bertujuan untuk meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keuangan syariah dan mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan (Zaisika Khairunnisak & Purba, 2023). Namun, penerapan Qanun LKS tidak terjadi dalam vakum. Partai politik lokal memainkan peran kunci dalam menggagas, mendiskusikan, dan meloloskan qanun ini. Partai-partai ini, dengan basis dukungan yang kuat dari masyarakat, mendorong pemerintah daerah untuk mengambil langkah-langkah konkret dalam mewujudkan hukum syariah dalam bidang ekonomi. Dengan demikian, Qanun LKS tidak hanya mencerminkan komitmen terhadap hukum Islam tetapi juga merupakan hasil dari proses politik yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran partai politik lokal dalam menggagas dan meloloskan Qanun LKS di Aceh serta bagaimana hal tersebut mencerminkan praktik demokrasi lokal dan prinsip-prinsip pemerintahan bersyariat. Studi ini signifikan untuk memahami dinamika politik lokal di Aceh dan kontribusinya terhadap penerapan hukum syariah, serta implikasinya bagi *good governance* di wilayah tersebut.

Secara khusus, penelitian ini akan mengeksplorasi bagaimana partai politik lokal menginisiasi dan mendorong legislasi Qanun LKS, strategi yang mereka gunakan untuk mendapatkan dukungan, dan tantangan yang dihadapi dalam proses tersebut. Selain itu, penelitian ini juga akan menilai dampak implementasi Qanun LKS terhadap masyarakat Aceh dari perspektif ekonomi dan sosial, serta bagaimana qanun ini mencerminkan prinsip-prinsip *good governance* seperti transparansi dan akuntabilitas.

Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang interaksi antar demokrasi lokal, pemerintahan bersyariat, dan peran partai politik lokal di Aceh. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan lainnya tentang bagaimana memperkuat implementasi hukum syariah dan meningkatkan *good governance* di Aceh.

II. PERSPEKTIF TEORETIS

2.1 Demokrasi Lokal

Demokrasi lokal merujuk pada sistem pemerintahan di mana keputusan diambil di tingkat lokal, memberikan masyarakat setempat kesempatan untuk berpartisipasi langsung dalam proses pengambilan keputusan. Partisipasi masyarakat dalam proses demokrasi lokal merupakan elemen kunci untuk menciptakan masyarakat sipil yang kuat, di mana warga memiliki suara dalam kebijakan yang memengaruhi kehidupan mereka (Nurfadilla & Nurdin, 2024). Dalam konteks Aceh, demokrasi lokal ini tercermin melalui partisipasi aktif masyarakat dan partai politik lokal dalam proses legislasi dan pemerintahan. Melalui pemilihan umum dan forum-forum

partisipatif, masyarakat Aceh memiliki kesempatan untuk terlibat dalam diskusi kebijakan, serta memberi masukan dan aspirasi yang kemudian dipertimbangkan oleh pengambil keputusan.

Salah satu bentuk nyata dari demokrasi lokal di Aceh adalah pemilihan kepala daerah (Pilkada) yang berlangsung secara langsung (Ahmady et al., 2023). Proses ini tidak hanya menciptakan akuntabilitas publik, tetapi juga meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan. Sebagai contoh, dalam pelaksanaan Pilkada, masyarakat memiliki hak untuk memilih calon yang sesuai dengan visi dan misi mereka, yang sering kali berakar pada nilai-nilai lokal dan syariah. Partisipasi ini memperkuat legitimasi pemerintah lokal dan memastikan bahwa kebijakan yang dihasilkan mencerminkan kebutuhan dan harapan masyarakat. Namun, tantangan dalam demokrasi lokal di Aceh juga ada. Pembatasan ruang gerak politik dan intervensi dari pihak-pihak tertentu sering kali menghambat proses partisipatif ini. Keberhasilan demokrasi lokal sangat tergantung pada lingkungan politik yang mendukung dan adanya ruang bagi masyarakat untuk menyuarakan pendapat mereka.

2.2 Pemerintahan Bersyariat

Pemerintahan bersyariat mengacu pada penerapan hukum Islam dalam sistem pemerintahan. Di Aceh, hal ini diatur oleh UU Pemerintahan Aceh No. 11 Tahun 2006, yang memberikan wewenang bagi Aceh untuk menerapkan hukum syariah. Tujuan utama dari pemerintahan bersyariat adalah untuk menciptakan keadilan sosial dan moral dalam masyarakat, serta melindungi hak-hak individu. Prinsip-prinsip syariah menjadi dasar bagi pembuatan kebijakan publik, termasuk dalam sektor ekonomi melalui Qanun LKS.

Penerapan hukum syariah di Aceh tidak hanya mencakup aspek hukum, tetapi juga sosial, ekonomi, dan budaya (Sumawiharja, 2023). Hal ini berarti bahwa hukum syariah berfungsi sebagai panduan dalam pengambilan keputusan di berbagai bidang, termasuk pendidikan, kesehatan, dan ekonomi. Sebagai contoh, Qanun LKS mencerminkan upaya pemerintah untuk mengintegrasikan nilai-nilai Islam dalam sektor keuangan, mendorong penggunaan produk-produk keuangan yang sesuai dengan prinsip syariah, dan menghindari praktik-praktik yang dianggap tidak sesuai, seperti riba.

Namun, implementasi pemerintahan bersyariat juga dihadapkan pada berbagai tantangan. Beberapa kalangan menilai bahwa interpretasi terhadap syariat seringkali dapat dipengaruhi oleh kepentingan politik dan kekuasaan (Bearman, 2016). Adanya risiko oligarki dalam pemerintahan dapat mengurangi partisipasi masyarakat dan menyebabkan penegakan hukum yang tidak adil. Oleh karena itu, diperlukan kerjasama antara pemerintah, partai politik, dan masyarakat untuk memastikan bahwa penerapan hukum syariah di Aceh berjalan sesuai dengan prinsip-prinsip keadilan dan transparansi.

2.3 Qanun LKS

Qanun LKS adalah peraturan daerah yang mengatur lembaga keuangan agar beroperasi sesuai dengan prinsip-prinsip syariah (Pradana & Muhammad Roy Purwanto, 2023). Qanun LKS bertujuan untuk memberikan kerangka hukum bagi lembaga keuangan syariah di Aceh agar dapat bersaing dengan lembaga keuangan konvensional sambil tetap mematuhi hukum Islam. Tujuan utama dari Qanun ini adalah untuk memastikan bahwa semua transaksi keuangan di Aceh sesuai dengan hukum Islam, meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keuangan, dan mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan di wilayah tersebut.

Qanun LKS memberikan panduan mengenai berbagai aspek operasional lembaga keuangan syariah, termasuk perizinan, produk-produk keuangan, serta pengawasan dan akuntabilitas. Penerapan Qanun ini diharapkan dapat meningkatkan literasi keuangan masyarakat dan mendorong partisipasi masyarakat dalam sistem keuangan syariah, yang sering kali dianggap lebih etis dan transparan dibandingkan dengan sistem keuangan konvensional.

Namun, tantangan dalam implementasi Qanun LKS juga cukup signifikan. Kurangnya pemahaman masyarakat tentang konsep keuangan syariah dan ketidakpastian hukum dalam penerapan qanun ini dapat menghambat pertumbuhan lembaga keuangan syariah di Aceh. Oleh karena itu, edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat tentang pentingnya Qanun LKS dan manfaat lembaga keuangan syariah sangat penting untuk memastikan keberhasilan implementasinya.

Dengan demikian, kerangka teoretis ini memberikan dasar yang kuat untuk menganalisis interaksi antara demokrasi lokal, pemerintahan bersyariat, dan implementasi Qanun LKS di Aceh. Melalui pemahaman yang mendalam tentang konsep dan teori ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam proses legislasi dan implementasi Qanun LKS serta implikasinya bagi masyarakat Aceh secara keseluruhan.

III. HASIL/TEMUAN

3.1 Peran Partai Politik Lokal dalam Menggagas Qanun LKS

Perjalanan menuju pembentukan Qanun Nomor 11 Tahun 2018 tentang Lembaga Keuangan Syariah sangatlah panjang. Prosesnya dimulai pada tahun 2015 dengan penyusunan naskah akademis yang kemudian disampaikan kepada Pemerintah Daerah pada tahun 2016. Pembahasan putaran pertama dilakukan pada tahun 2017 yang dipimpin oleh DPR (Dewan Perwakilan Rakyat Daerah). Pada tahun 2018, pembahasan tambahan dilakukan dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam menyempurnakan Qanun tersebut. Pada akhirnya, pada tanggal 4 Januari 2019, Qanun Nomor 11 Tahun 2018 tentang Lembaga Keuangan Syariah resmi diundangkan.

Partai lokal berperan penting dalam mendorong disahkannya Qanun LKS. Namun, pemerintah Aceh pada awalnya kurang siap untuk membahas lembaga keuangan syariah, karena awalnya hanya menyusun 4 pasal dengan 8 dari 16 klausul yang dimaksudkan. Ketentuan ini kemudian diperluas oleh Panitia Khusus. Dalam RPDU tersebut, dunia usaha di Aceh menyatakan antisipasinya agar semua bank membuka cabang perbankan syariah, seperti BRI Syariah, BNI Syariah, dan lainnya.

Partai politik lokal di Aceh, seperti Partai Aceh, memainkan peran penting dalam menggagas dan meloloskan Qanun LKS. Proses ini dimulai dengan inisiasi ide oleh anggota partai yang kemudian dikembangkan menjadi proposal legislatif. Partai-partai ini menggunakan pengaruh politik mereka untuk mendorong diskusi dan mendapatkan dukungan dari berbagai pihak, termasuk masyarakat dan lembaga-lembaga keagamaan. Dalam konteks ini, pengaruh partai politik lokal sangat signifikan, mengingat mereka memiliki akses yang lebih langsung terhadap basis pemilih mereka dan lebih memahami kebutuhan serta aspirasi masyarakat.

Salah satu faktor penting dalam inisiasi proses legislasi ini adalah adanya kesadaran akan perlunya lembaga keuangan yang sesuai dengan syariat Islam untuk mendukung pertumbuhan ekonomi di Aceh. Partai politik lokal seringkali berperan sebagai fasilitator dalam proses ini, menciptakan ruang dialog antara pemerintah dan masyarakat. Para anggota partai seringkali mengadakan forum diskusi dan seminar untuk menyebarkan ide-ide mereka mengenai pentingnya Qanun LKS kepada masyarakat. Dalam proses ini, mereka tidak hanya berperan sebagai penggagas, tetapi juga sebagai mediator antara pemerintah dan masyarakat.

Selain tanggapan partai Aceh, Partai Aceh Nanggroe (PNA) setempat juga menyuarakan sikapnya terhadap usulan amandemen Qanun LKS. Menurut laporan *Dialectics*, PNA menentang amandemen ini. Pembahasan revisi Qanun LKS menuai banyak pertanyaan mengenai perbedaan pandangan, terutama setelah Pemerintah Aceh dan DPR Aceh sepakat untuk mengkaji ulang Qanun Nomor 11 Tahun 2018 dan mempertimbangkan perubahan yang mungkin terjadi. Sebagai kelompok politik yang dikenal karena komitmennya terhadap identitas unik Aceh, Partai Nanggroe Aceh berpendapat bahwa tidak perlu mengubah Qanun tersebut, bahkan jika hal itu melibatkan pengenalan kembali bank konvensional ke Aceh. Ketua Dewan Pimpinan Pusat PNA menegaskan, ketentuan dalam Qanun LKS mencerminkan nilai-nilai universal, dan menegaskan bahwa semua lembaga keuangan, apa pun jenisnya, harus mengikuti prinsip keadilan ekonomi yang berlandaskan ajaran Islam.

3. 2 Implementasi Qanun LKS dalam Pemerintahan Bersyariat

Syariah atau hukum Islam, mempengaruhi kode hukum di sebagian besar negara Muslim. Sebuah gerakan yang memperbolehkan syariah mengatur hukum. Implementasi Qanun LKS membawa berbagai dampak ekonomi dan sosial bagi masyarakat Aceh (Yusmalinda, 2023). Di sektor ekonomi, qanun ini mendorong pertumbuhan lembaga keuangan syariah yang meningkatkan akses masyarakat terhadap produk-produk keuangan yang sesuai dengan prinsip-prinsip Islam (Wardayati, 2011). Lembaga keuangan syariah dapat memberikan alternatif yang lebih inklusif bagi masyarakat yang sebelumnya terpinggirkan dari sistem perbankan konvensional. Dengan adanya Qanun LKS, lembaga keuangan syariah diharapkan dapat memberikan layanan yang lebih adil dan transparan, mendorong inklusi keuangan yang lebih besar.

Partai Aceh sangat menghargai peran partai lokal dan mencari dukungan dari kalangan ulama. Ulama moderat menegaskan bahwa Aceh tetap menjadi bagian dari Negara Kesatuan Republik Indonesia yang berpedoman pada Pancasila, bukan syariat Islam, sehingga tidak semua unsur syariah diterapkan (Zaki, 2015). Perkembangan hukum syariah menyesuaikan dengan perubahan zaman. Di Timur Tengah, misalnya, negara-negara mempertahankan perpaduan perbankan konvensional, internasional, dan syariah (Samsudin et al., 2024). Model perbankan syariah sering kali dipengaruhi oleh negara-negara seperti Qatar, yang beroperasi tanpa bank konvensional. Melihat dinamika yang terjadi di Aceh saat ini, nampaknya pendekatan yang diterapkan di Aceh terlalu kaku.

Ketua DPR Aceh Saiful Bahri (Pon Yaya) menjelaskan Qanun LKS ini disusun bersama antara Pemerintah Aceh dan DPRA melalui berbagai tahapan sebelum resmi diundangkan di Aceh. Namun demikian, seiring berjalannya waktu, kelemahan dalam implementasi dan kebijakan undang-undang tersebut semakin terlihat. Oleh karena itu, wajar jika DPRA dan Pemerintah Aceh mempertimbangkan penyesuaian untuk memperkuat dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Baru-baru ini, diskusi seputar usulan amandemen Qanun LKS telah memicu wacana negatif di Aceh, dan ada perdebatan yang menyimpang dari maksud awal. Saiful Bahri mengklarifikasi bahwa

revisi ini tidak dimaksudkan untuk menghilangkan atau mengkompromikan kerangka syariah Islam dalam sistem keuangan Aceh, seperti yang disarankan dalam beberapa diskusi hukum.

Dampak sosialnya termasuk peningkatan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keuangan dan peningkatan kesadaran akan pentingnya kepatuhan terhadap hukum syariah. Penerapan Qanun LKS telah berkontribusi pada peningkatan pemahaman masyarakat mengenai prinsip-prinsip syariah dalam keuangan, yang sebelumnya kurang dikenal. Hal ini juga tercermin dalam peningkatan partisipasi masyarakat dalam produk keuangan syariah, seperti pembiayaan mikro dan simpanan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Masyarakat kini semakin menyadari pentingnya berinvestasi dalam produk-produk yang tidak hanya menguntungkan secara finansial tetapi juga sesuai dengan nilai-nilai agama mereka.

3.3 Demokrasi Lokal dan *Good Governance*

Selama ini, studi mengenai demokrasi lokal di Aceh umumnya berfokus pada dua aspek. Pertama, dominasi Partai Aceh dianggap sebagai faktor utama yang menunjukkan keberhasilan reintegrasi politik di Aceh. Perspektif ini cenderung mengabaikan keberadaan kekuatan politik lokal lainnya, bahkan mengarah pada pandangan bahwa keterlibatan mantan kombatan adalah jaminan bagi keberlanjutan perdamaian. Kedua, terdapat studi yang memusatkan event elektoral sebagai paradigma utama dalam membangun demokrasi lokal di Aceh pasca-konflik. Pendekatan ini kurang mempertimbangkan bahwa demokrasi, terutama dalam konteks Indonesia, tidak semata-mata dinilai dari keberhasilan event elektoral dan dampak langsungnya (Alkaf & Wati, 2022).

Qanun LKS mencerminkan beberapa prinsip *good governance*, seperti transparansi, akuntabilitas, partisipasi, dan responsivitas. Proses legislasi yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk masyarakat, menunjukkan komitmen terhadap partisipasi publik dan transparansi. Partisipasi masyarakat dalam proses pembuatan kebijakan publik, seperti Qanun LKS, merupakan salah satu indikator penting dari demokrasi lokal. Partisipasi ini tidak hanya terbatas pada saat diskusi atau pengambilan suara, tetapi juga meliputi keterlibatan masyarakat dalam setiap tahap proses legislasi, dari perumusan ide hingga implementasi (Perdana et al., 2019).

Lebih jauh, Qanun LKS juga menunjukkan upaya untuk merespons kebutuhan masyarakat secara efektif, sesuai dengan prinsip responsivitas dalam *good governance*. Lembaga keuangan syariah yang diatur oleh qanun ini diharapkan dapat memberikan solusi yang sesuai dengan kebutuhan spesifik masyarakat Aceh, seperti produk pembiayaan yang berlandaskan syariah. Dalam konteks ini, implementasi Qanun LKS dapat dianggap sebagai langkah menuju penyelenggaraan pemerintahan yang lebih baik, yang mampu memenuhi tuntutan dan harapan masyarakat.

3.4 Keterkaitan antara Demokrasi Lokal dan Pemerintahan Bersyariat

Penerapan syariat Islam di Aceh telah mampu menyelesaikan masalah baru yaitu meningkatnya rasa nasionalisme dan demokrasi lokal. Arus masalah tersebut dapat menciptakan identitas nasionalisme masyarakat Aceh. Kalau kita perhatikan dewasa ini jika ditinjau dari segi sikap nasionalisme (sebagai elemen penting dalam penumbuhan nasionalisme), kita banyak mengalami perubahan kearah lebih baik. Syariat Islam sebagai solusi dalam membentuk nasionalisme masyarakat Aceh, karena dalam syariat islam kita dituntut untuk berbuat baik dengan sesama tanpa pandang bulu dan mengajarkan kecintaan terhadap tanah air (Sulaiman & Nurmasiyah, 2020).

Keterkaitan antara demokrasi lokal dan pemerintahan bersyariat di Aceh sangat erat (Bayo et al., 2018). Demokrasi lokal memberikan ruang bagi masyarakat untuk berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan, sementara pemerintahan bersyariat memastikan bahwa kebijakan yang dihasilkan sesuai dengan nilai-nilai Islam (Fair et al., 2018). Qanun LKS adalah contoh konkret bagaimana kedua konsep ini dapat bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama. Partisipasi masyarakat dalam demokrasi lokal tidak hanya meningkatkan legitimasi kebijakan, tetapi juga memastikan bahwa kebijakan tersebut dapat diterima dan dilaksanakan oleh masyarakat. Dalam konteks ini, Qanun LKS tidak hanya sekadar regulasi, tetapi juga mencerminkan aspirasi masyarakat Aceh untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip syariah dalam kehidupan ekonomi mereka.

Keberadaan Qanun LKS juga menunjukkan komitmen pemerintah Aceh dalam mengedepankan nilai-nilai Islam dalam setiap aspek kehidupan masyarakat, termasuk dalam bidang ekonomi. Keberhasilan pemerintahan bersyariat bergantung pada sejauh mana masyarakat terlibat dalam pengambilan keputusan. Dalam proses legislasi Qanun LKS, partisipasi aktif dari berbagai elemen masyarakat, termasuk ulama, akademisi, dan pengusaha, menjadi indikator positif terhadap implementasi prinsip-prinsip syariah dalam kebijakan publik.

3.5 Keberhasilan dan Kegagalan

Keberhasilan Qanun LKS dalam meningkatkan akses terhadap produk keuangan syariah dan meningkatkan kesadaran masyarakat adalah pencapaian penting. Setelah penerapan Qanun LKS, terdapat peningkatan signifikan dalam jumlah lembaga keuangan syariah yang beroperasi di Aceh. Ini menunjukkan bahwa masyarakat semakin terbuka untuk memanfaatkan produk keuangan syariah, yang sebelumnya mungkin dianggap kurang familiar. Selain itu, keberhasilan dalam menciptakan program-program pelatihan dan edukasi tentang keuangan syariah juga berkontribusi pada peningkatan pemahaman masyarakat mengenai manfaat dan keunggulan produk-produk tersebut.

Qanun Lembaga Keuangan Syariah (LKS) telah resmi disahkan, memberikan kerangka yang jelas bagi penerapan hukum Islam di Aceh. Keterlibatan DPR Aceh, beserta tugas dan perannya di bidang legislasi, merupakan bagian integral dalam proses ini. Seiring berjalannya waktu, Qanun LKS telah mendapatkan dukungan kuat dan juga penolakan, sehingga mendorong beberapa pemangku kepentingan, termasuk pemerintah Aceh, untuk melakukan advokasi terhadap amandemen Qanun tersebut. Situasi ini menimbulkan persepsi di kalangan masyarakat Aceh bahwa pemerintah kurang mendukung hukum syariah, sehingga menimbulkan beragam tanggapan dan pandangan dari berbagai faksi politik di Aceh.

Namun, meskipun ada pencapaian, masih terdapat kegagalan dalam hal penegakan hukum dan kurangnya pemahaman masyarakat yang perlu diatasi untuk meningkatkan efektivitas qanun ini. Banyak lembaga keuangan syariah yang telah didirikan, masih ada masalah terkait kepatuhan terhadap regulasi yang ditetapkan dalam Qanun LKS. Hal ini menunjukkan perlunya pengawasan yang lebih ketat dan mekanisme penegakan hukum yang efektif untuk memastikan bahwa lembaga keuangan syariah beroperasi sesuai dengan prinsip-prinsip syariah dan peraturan yang berlaku.

Kurangnya pemahaman masyarakat tentang produk keuangan syariah juga menjadi tantangan signifikan. Banyak masyarakat yang masih bingung mengenai perbedaan antara lembaga keuangan syariah dan konvensional, serta manfaat yang dapat diperoleh dari produk keuangan syariah. Kegagalan dalam memberikan edukasi yang

memadai dapat menyebabkan rendahnya tingkat partisipasi masyarakat dalam sistem keuangan syariah, yang pada gilirannya dapat mengurangi efektivitas Qanun LKS.

3.6 Rekomendasi untuk Peningkatan

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan upaya kolaboratif antara pemerintah, partai politik lokal, dan lembaga keuangan syariah dalam menyusun strategi komunikasi dan edukasi yang lebih efektif. Melalui program-program edukasi yang dirancang dengan baik, masyarakat dapat lebih memahami manfaat dan prinsip-prinsip keuangan syariah, serta pentingnya berpartisipasi dalam sistem keuangan yang sesuai dengan hukum Islam. Pendekatan yang lebih inklusif dalam edukasi masyarakat, yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, dapat meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap lembaga keuangan syariah dan mendorong partisipasi yang lebih besar.

Selanjutnya, penguatan kapasitas pengawasan dan penegakan hukum juga sangat penting. Pengembangan sumber daya manusia yang terlatih di bidang pengawasan dan audit lembaga keuangan syariah akan membantu memastikan bahwa semua lembaga beroperasi dengan integritas dan sesuai dengan peraturan yang ada. Dengan meningkatkan kualitas pengawasan, diharapkan kepercayaan masyarakat terhadap lembaga keuangan syariah dapat tumbuh, dan mereka akan lebih bersedia untuk berpartisipasi dalam sistem keuangan yang berlandaskan syariah.

Secara keseluruhan, untuk mencapai keberhasilan dalam implementasi Qanun LKS dan memastikan bahwa ia berfungsi sebagai instrumen untuk mendukung demokrasi lokal dan pemerintahan bersyariat, diperlukan kerjasama yang erat antara semua pihak terkait. Dengan fokus pada pendidikan, pengawasan, dan partisipasi aktif masyarakat, Aceh dapat menjadi contoh yang inspiratif bagi daerah lain di Indonesia dalam mengintegrasikan nilai-nilai Islam ke dalam sistem pemerintahan dan ekonomi.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa partai politik lokal di Aceh memainkan peran kunci dalam menggagas dan meloloskan Qanun LKS. Proses ini mencerminkan praktik demokrasi lokal yang partisipatif dan penerapan prinsip-prinsip good governance. Melalui pengaruh politik dan kolaborasi dengan berbagai pemangku kepentingan, partai-partai lokal tidak hanya berhasil mendorong pengesahan qanun ini, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya keuangan syariah. Keberhasilan ini sejalan dengan peran aktif partai politik lokal dalam proses legislasi dapat menciptakan sinergi positif antara kebijakan publik dan partisipasi masyarakat.

Meskipun terdapat tantangan dalam implementasi, seperti kurangnya pemahaman masyarakat tentang keuangan syariah dan kendala dalam penegakan hukum, qanun ini membawa dampak positif bagi pembangunan ekonomi dan sosial di Aceh. Peningkatan akses terhadap produk keuangan syariah telah membantu mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, sementara peningkatan kesadaran akan prinsip-prinsip syariah dapat membentuk perilaku konsumsi masyarakat yang lebih bertanggung jawab. Selain itu, keberadaan Qanun LKS juga mendorong pembentukan lembaga keuangan syariah yang berkomitmen untuk beroperasi sesuai dengan nilai-nilai Islam, yang pada gilirannya meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap sistem keuangan secara keseluruhan.

Implikasi bagi pembuat kebijakan termasuk perlunya pendidikan publik yang lebih intensif tentang keuangan syariah. Program-program edukasi yang menysasar semua lapisan masyarakat, mulai dari pelajar hingga pengusaha, sangat penting untuk meningkatkan pemahaman tentang produk dan prinsip keuangan syariah. Dengan cara ini, masyarakat tidak hanya akan lebih memahami keuntungan dari bertransaksi dengan lembaga keuangan syariah, tetapi juga mampu mengidentifikasi produk yang sesuai dengan kebutuhan mereka.

V. ACKNOWLEDGMENT

Tulisan dalam buku ini merupakan hasil pengembangan dari penelitian yang didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Syiah Kuala Tahun 2024. Dimana luaran utama penelitian, telah terbit pada salah satu Jurnal Internasional Bereputasi.

DAFTAR PUSTAKA

- A Rahman, D., Bin Abubakar, M., Rizwan, M., Muntasir, M., & Hidayat, B. (2024). Otonomi Daerah Khusus Aceh: Jembatan menuju Rekonsiliasi atau Sumber Ketegangan Baru. *Jurnal Pemerintahan Dan Politik*, 9(3), 183–194. <https://doi.org/10.36982/jpg.v9i3.4459>
- Ahmady, I., Putri, A., & Hakim, N. A. T. U. (2023). Analisis Fenomena Penunjukkan Penjabat Kepala Daerah Provinsi Aceh oleh Pemerintah Pusat. *Journal of Governance and Social Policy*, 4(1), 119–138. <https://doi.org/10.24815/gaspol.v4i1.31895>
- Alkaf, M., & Wati, S. (2022). Pembentukan Demokrasi Lokal di Aceh. *Politica: Jurnal Hukum Tata Negara Dan Politik Islam*, 9(2), 58–70. <https://doi.org/10.32505/politica.v9i2.4764>
- Bayo, L. N., Santoso, P., & Samadhi, W. P. (2018). *Rezim lokal di Indonesia: memaknai ulang demokrasi kita*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Bearman, P. (2016). *The Ashgate Research Companion to Islamic Law* (R. Peters (ed.)). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315613093>
- Fair, C. C., Littman, R., & Nugent, E. R. (2018). Conceptions of Shari`a and Support for Militancy and Democratic Values: Evidence From Pakistan. *Political Science Research and Methods*, 6(3), 429–448. <https://doi.org/10.1017/psrm.2016.55>
- Nurfadilla, Y., & Nurdin, I. (2024). Kepemimpinan Kolaboratif dalam Momentum Pemilu 2024 Membangun Partisipasi Demokratis yang Berkelanjutan. *Jurnal Pemerintahan Dan Politik*, 9(1), 44–49. <https://doi.org/10.36982/jpg.v9i1.3714>
- Perdana, M. F., Laksmono, B. S., Harto, S., & Ismandianto, I. (2019). PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM PELAKSANAAN MUSYAWARAH RENCANA PEMBANGUNAN DESA DI DESA TITIAN MODANG KOPAH KECAMATAN KUANTAN TENGAH KABUPATEN KUANTAN SINGINGI TAHUN 2017. *WEDANA: Jurnal Kajian Pemerintahan, Politik Dan Birokrasi*, 5(2), 38–49. [https://doi.org/10.25299/wedana.2019.vol5\(2\).4317](https://doi.org/10.25299/wedana.2019.vol5(2).4317)
- Pradana, R. Y. P., & Muhammad Roy Purwanto. (2023). DAMPAK PENERAPAN QANUN ACEH NOMOR 11 TAHUN 2018 TENTANG LEMBAGA KEUANGAN SYARIAH TERHADAP KESIAPAN LEMBAGA KEUANGAN MIKRO MAHIRAH MUAMALAH. *At-Thullab: Jurnal Mahasiswa Studi Islam*, 5(1), 1209–1223. <https://doi.org/10.20885/tullab.vol5.iss1.art1>
- Samsudin, A. R., Mukhlas, O. S., & Rusyana, A. Y. (2024). Prospek Masa Depan Dual Banking System Dalam Konteks Globalisasi Ekonomi Syariah. *Eco-Iqtishodi: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Keuangan Syariah*, 6(1), 59–78. <https://doi.org/10.32670/ecoiqtishodi.v6i1.4476>
- Sulaiman, & Nurmasyitah. (2020). PENGEMBANGAN NASIONALISME DALAM KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT ACEH YANG MENJALANKAN SYARIAT ISLAM. *Jurnal Pesona Dasar*, 8(2). <https://doi.org/10.24815/pear.v8i2.18665>

- Sumawiharja, F. A. (2023). Perkembangan Penologi Islam dan Hukum Jinayat di Nangroe Aceh Darussalam. *AL-MANHAJ: Jurnal Hukum Dan Pranata Sosial Islam*, 5(2), 1169–1176. <https://doi.org/10.37680/almanhaj.v5i2.2823>
- Wardayati, S. M. (2011). IMPLIKASI SHARIAH GOVERNANCE TERHADAP REPUTASI DAN KEPERCAYAAN BANK SYARIAH. *Walisono: Jurnal Penelitian Sosial Keagamaan*, 19(1), 1. <https://doi.org/10.21580/ws.19.1.210>
- Yunus, F. M., Azwarfajri, A., & Yusuf, M. (2023). Penerapan dan Tantangan Pelaksanaan Syariat Islam di Aceh. *Jurnal Sosiologi USK (Media Pemikiran & Aplikasi)*, 17(1), 181–192. <https://doi.org/10.24815/jsu.v17i1.32865>
- Yusmalinda, Y. (2023). KONTRIBUSI QANUN LKS TERHADAP UMKM SEBAGAI UPAYA MENINGKATKAN KESEJAHTERAAN EKONOMI MASYARAKAT KOTA. *Jurnal Ekonomi STIEP*, 8(1), 45–55. <https://doi.org/10.54526/jes.v8i1.141>
- Zaisika Khairunnisak, & Purba, H. (2023). Good Corporate Governance in Sharia Banking. *Indonesian Journal of Business Analytics*, 3(3), 803–814. <https://doi.org/10.55927/ijba.v3i3.4813>
- Zaki, M. (2015). ARAH LEGISLASI HUKUM ISLAM DI INDONESIA DALAM PERSPEKTIF INTERAKSI AGAMA DAN NEGARA. *MIQOT: Jurnal Ilmu-Ilmu Keislaman*, 39(1). <https://doi.org/10.30821/miqot.v39i1.39>

TEKNOLOGI NEAR INFRARED SPECTROSCOPY: INOVASI DIAGNOSIS KANKER PADA NODUL TIROID

Hendra Zufry¹, Agus Arip Munawar²

¹Divisi Endokrinologi, Metabolisme, dan Diabetes-Tiroid, Departemen Ilmu Penyakit Dalam/ Inovasi dan Pusat Riset Endokrinologi Fakultas Kedokteran, Universitas Syiah Kuala/ Rumah Sakit Umum Daerah Zainoel Abidin, Banda Aceh, Indonesia

²Laboratorium Instrumentasi dan Energi, Departemen Teknik Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

Penulis korespondensi: aamunawar@usk.ac.id

RINGKASAN

Tiroid adalah kelenjar endokrin yang berperan penting dalam mengatur metabolisme tubuh melalui produksi hormon tiroid, Kehadiran nodul pada tiroid dapat mengganggu fungsi normal kelenjar tiroid, yang berdampak pada keseimbangan hormon dalam tubuh. Deteksi dini dan cepat pada nodul tiroid perlu dilakukan agar penanganan insiden ini bisa lebih tepat. Teknologi *near infrared spectroscopy* (NIRS) adalah teknologi inovatif yang menggunakan gelombang cahaya inframerah untuk mendeteksi berbagai karakteristik jaringan tubuh tanpa perlu prosedur invasif. Studi ini bertujuan mengevaluasi efektivitas dan akurasi teknologi NIRS dalam membedakan nodul tiroid jinak dan ganas. Spektrum reflektansi untuk total 20 sampel nodul tiroid diperoleh dalam rentang panjang gelombang dari 1000-2500 nm. Hasil analisis data spektrum NIRS menunjukkan pemisahan yang jelas antara gondok koloid dan kanker tiroid dengan tumpang tindih yang minimal, sesuai dengan akurasi 95% yang dilaporkan. Selain itu, penerapan metode klasifikasi *discriminant analysis* mencapai tingkat akurasi 100% dalam mengklasifikasikan gondok koloid dan kanker tiroid dari data spektrum. Teknologi NIRS menawarkan inovasi diagnostik pelengkap non-invasif yang menjanjikan untuk membedakan nodul tiroid jinak dan ganas dengan akurasi tinggi.

I. PENDAHULUAN

Nodul tiroid merupakan massa atau benjolan yang terbentuk di dalam kelenjar tiroid, yang terletak di bagian depan leher. Meskipun sebagian besar nodul tiroid tidak berbahaya dan bersifat jinak, beberapa di antaranya dapat berkembang menjadi kanker tiroid atau menyebabkan masalah kesehatan lainnya. Nodul tiroid sering kali ditemukan secara tidak sengaja pada pemeriksaan fisik rutin atau melalui pencitraan medis yang dilakukan untuk kondisi lain (Vaccarella dan Dal Maso 2021; Vignali *et al.* 2023). Mengingat prevalensinya yang tinggi dan potensi risiko kesehatan yang mungkin timbul, penanganan dan pemantauan nodul tiroid merupakan

aspek penting dalam praktik kesehatan. Pemahaman yang lebih baik mengenai nodul tiroid akan membantu masyarakat dan tenaga medis untuk mengambil langkah pencegahan dan pengobatan yang tepat.

Insiden nodul tiroid meningkat pada tingkat yang mengkhawatirkan, dengan prevalensi keseluruhan 24,83% tanpa memandang diagnosis. Pada tahun 2020, terdapat 586.000 kasus baru kanker tiroid di seluruh dunia (Tamhane dan Gharib, 2016; Thewjitcharoen *et al.* 2019). Meskipun sebagian besar bersifat jinak, tingkat keganasan nodul tiroid adalah 1,1% pada populasi umum. Angka kematian yang terkait dengan kanker tiroid tetap sangat tinggi. Nodul tiroid telah diidentifikasi lebih sering dalam beberapa tahun terakhir karena peningkatan sensitivitas dalam teknik pencitraan. Nodul tiroid didiagnosis dengan anamnesis dan pemeriksaan fisik, ultrasonografi, pengukuran hormon perangsang tiroid, biopsi aspirasi jarum halus, dan skintigrafi. Seiring dengan meningkatnya prevalensi dan insiden kanker tiroid, evaluasi nodul tiroid yang akurat dan tepat waktu menjadi sangat penting (Dean dan Gharib, 2008).

Biopsi aspirasi jarum halus untuk nodul tiroid telah menjadi prosedur standar emas dalam hal biaya dan kemanjuran, untuk memandu para klinisi dalam penanganan pasien yang tepat. Salah satu tantangan bagi ahli sitopatologi adalah mengklasifikasikan spesimen sitologi secara akurat sebagai jinak atau ganas berdasarkan ciri-ciri sitomorfologi (Tamhane dan Gharib 2016; Vignali *et al.* 2023). Dalam beberapa tahun terakhir, lanskap mutasi tumor tiroid telah dijelaskan secara ekstensif, dan dua profil molekuler telah diidentifikasi yakni profil molekuler mirip virus sarkoma tikus dan profil molekuler mirip. Namun, pengujian profil molekuler ini mahal dan jarang tersedia di lingkungan dengan sumber daya terbatas terutama di Indonesia.

Spektroskopi inframerah dekat (NIRS) adalah teknik optik yang hemat biaya, portabel, dan non-invasif yang menggunakan foton cahaya dalam spektrum inframerah dekat (NIR) untuk memantau perubahan jaringan kromofor yang terjadi secara alami (El-Deiry *et al.* 2019). Teknologi NIRS telah diteliti untuk berbagai aplikasi medis, termasuk studi tentang fungsi otak, oksigenasi otot, dan deteksi tumor (Thewjitcharoen *et al.* 2019). Namun, potensi unik NIRS untuk membedakan keganasan pada nodul tiroid belum diteliti. Studi ini bertujuan untuk investigasi dan eksplorasi teknologi NIRS dalam bidang kedokteran, terutama untuk membedakan nodul tiroid jinak dan ganas.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

Teknologi NIRS atau spektroskopi inframerah dekat adalah teknologi inovatif yang menggunakan gelombang cahaya inframerah untuk mendeteksi berbagai karakteristik jaringan tubuh tanpa perlu prosedur invasif (Xu *et al.* 2017). Teknologi ini semakin menarik perhatian dalam bidang kedokteran, termasuk untuk deteksi nodul tiroid. Teknologi NIRS bekerja dengan mengirimkan cahaya inframerah ke jaringan tubuh dan mengukur bagaimana jaringan tersebut menyerap atau memantulkan cahaya. Hasil spektrum ini memberikan informasi mengenai komposisi dan struktur jaringan, memungkinkan analisis yang detail tentang kondisi atau kelainan di dalam tubuh, termasuk pada kelenjar tiroid.

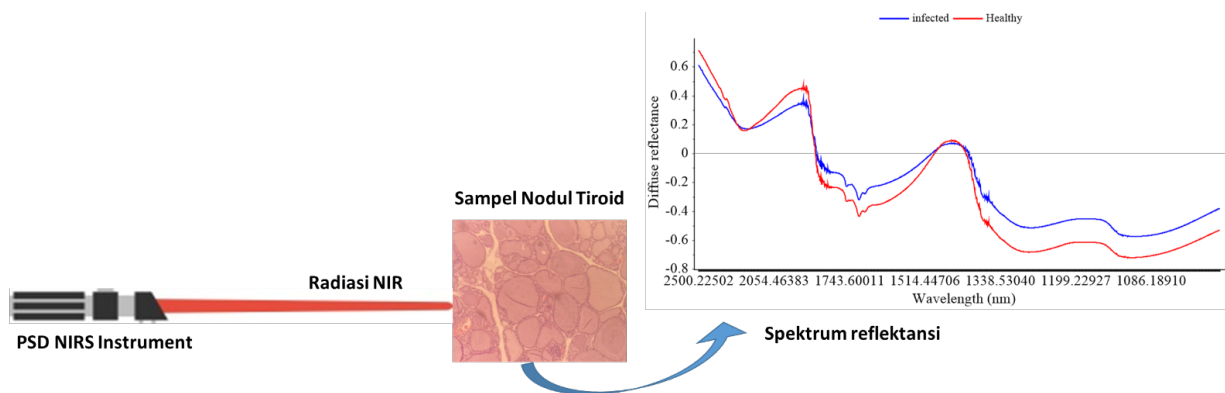
Dalam studi ini, kami merancang bangun instrument berbasis penerapan teknologi NIRS (Gambar 1) untuk deteksi tingkat keganasan pada nodul tiroid dengan panjang gelombang NIRS pada rentang 1000-2500 nm. Berdasarkan simulasi perancangan dan optimasi, *atenuasi optic* yang optimum untuk sampel nodul tiroid adalah 4x dengan jumlah scanning 32x untuk satu spektrum akuisisi.



Gambar 1. Inovasi instrument NIRS hasil rancangan

2.1 Akuisi Data Spektrum Nodul Tiroid

Data spektrum NIRS dalam bentuk spektrum reflektansi diakuisisi dan direkam untuk 20 sampel menggunakan instrumen hasil rancangan sendiri dengan nama PSD NIRS. Data spektral dikumpulkan dalam rentang panjang gelombang dari 1000-2500 nm dengan penguatan optik empat kali, dan 32 pemindaian ditambahkan bersama per akuisisi seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Akuisisi data spektrum NIR untuk sampel nodul tiroid

Data spektrum NIR dari sampel nodul tiroid, selanjutnya dianalisis untuk membedakan secara efektif antara berbagai jenis jaringan. Data spektrum diekstrak fitur-fitur khasnya agar dihasilkan *cluster* untuk membedakan antara nodul jinak (gondok kol) dan nodul ganas (kanker tiroid).

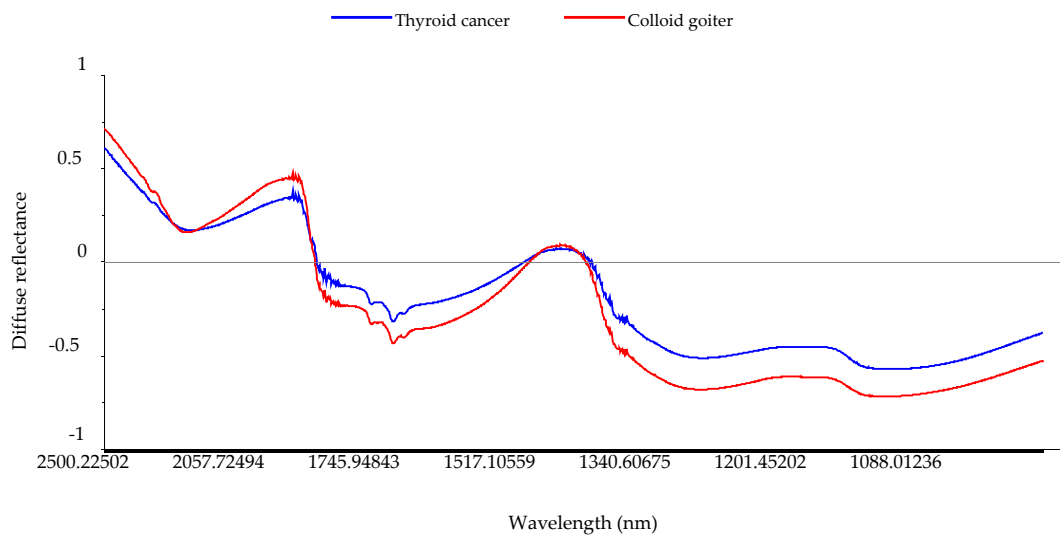
2.2 Analisis Data

Untuk menghasilkan hasil klasifikasi nodul tiroid dari data spektrum NIRS, metode klasifikasi berbasis *machine learning* digunakan untuk analisis data, yakni metode *principal component analysis* (PCA), *linear discriminat analysis* (LDA) dan *quadratic discriminat analysis* (QDA). Metode PCA adalah pendekatan statistik yang berharga yang mengurangi dimensionalitas data sambil mempertahankan sebagian besar varians (Lin *et al.* 2011; Liu *et al.* 2019). Metode PCA mengidentifikasi pola-pola yang signifikan dengan mengekstraksi komponen utama (PC), vektor ortogonal yang menangkap sumber utama varians dalam kumpulan data. Dalam hubungannya dengan NIRS, PCA membantu dalam mengidentifikasi pola dan variasi dalam spektrum NIR di seluruh sampel yang berbeda.

Selain itu, model klasifikasi juga dikembangkan menggunakan QDA dan LDA, dengan skor PCA yang diekstrak dari tujuh PC. Selanjutnya, matriks konfusi dianalisis untuk menghitung akurasi klasifikasi. Selama klasifikasi, teknik validasi silang k-lipat digunakan untuk memperkirakan kinerja klasifikasi prediktif. Data dipartisi menjadi k= 2 segmen berukuran sama. dengan setiap segmen digunakan satu kali sebagai segmen eksternal set data validasi sementara sisanya membentuk set pelatihan (Munawar *et al.* 2024). Metode validasi silang k-lipatan yang digunakan mirip dengan metode validasi silang leave-one- out, karena jumlah sampel yang ditarik untuk validasi silang diatur ke 1. Ini adalah dicapai dengan total k segmen, yakni k= 20, dan kinerja klasifikasi rata-rata usia dihitung. Selanjutnya, validasi silang k-fold diimplementasikan untuk meningkatkan keandalan dalam estimasi kinerja. Pemilihan model akhir didasarkan pada kinerja rata-rata terbaik di seluruh iterasi validasi silang.

III. HASIL/TEMUAN

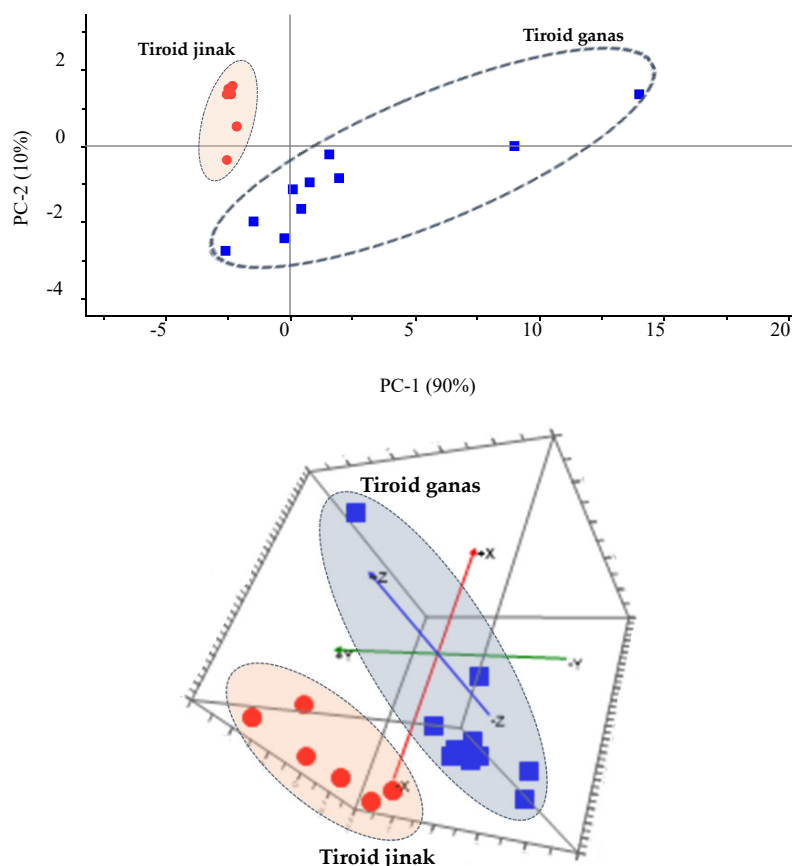
Fitur spektrum NIR untuk sampel nodul tiroid disajikan pada Gambar 3. Di wilayah NIR, molekul dengan vibrasi *overtone* dan kombinasi (misalnya, ikatan C-H, O-H, dan N-H) menyerap cahaya. Lebih lanjut, jaringan tiroid kaya akan air. Pita O-H pada jaringan tiroid normal muncul di daerah NIR, sekitar 1450 dan 1940 nm, dan intensitasnya dapat dipengaruhi oleh kadar air (Ghandoor *et al.* 2003; Siripatrawan dan Makino 2024).



Gambar 3. Fitur spektrum NIR untuk sampel nodul tiroid jinak dan ganas

Jaringan tiroid juga mengandung lipid dengan puncak NIR yang berbeda yang terkait dengan nada peregangan C-H dan kombinasinya, biasanya antara 1200-1300 nm Selain itu, ikatan amida dalam protein jaringan tiroid berkontribusi pada daerah NIR sehingga memungkinkan peregangan N-H dan O-H yang terkait dengan struktur protein dapat diamati dalam NIR. Konsentrasi lipid, air, dan protein bervariasi pada jaringan tiroid normal, nodul jinak, dan nodul ganas. Jaringan ganas sering kali mengandung kadar air yang lebih tinggi, yang memengaruhi puncak intensitas terkait air. Selain itu, nodul tiroid ganas dapat menunjukkan fitur spektral ekstra karena peningkatan pembentukan pembuluh darah, yang ditandai dengan karakteristik penyerapan NIR yang berbeda dari hemoglobin. Di sisi lain, nodul jinak, terutama gondok koloid, menunjukkan spektrum NIR yang unik karena bahan koloid agar-agar yang kaya akan tiroglobulin di dalam folikel tiroid.

Hasil klasifikasi menggunakan metode PCA untuk membedakan sampel nodul tiroid disajikan pada Gambar 4. Dua PC pertama secara efektif membedakan antara gondok koloid dan kanker tiroid. Dua PC pertama menangkap sebagian besar varians data dengan PC 1 berkontribusi 90% dan PC 2 berkontribusi 10% sisanya.



Gambar 4. Hasil klasifikasi nodul tiroid data spektrum NIRS dengan metode PCA

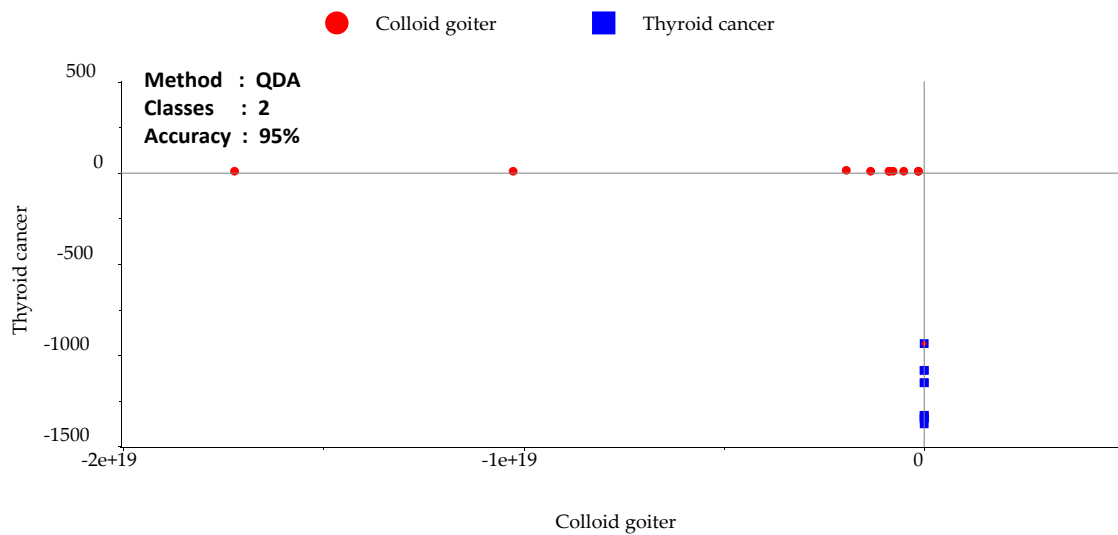
Dengan menggunakan PC dominan ini sebagai sumbu dalam *scatter plot*, maka akan memungkinkan untuk mengidentifikasi secara visual pengelompokan potensial atau kelompok nodul tiroid. Jika gondok koloid dan kanker tiroid memang memiliki ciri khas NIR yang berbeda, keduanya akan membentuk kelompok yang terpisah dalam ruang PCA ini yang memungkinkan diferensiasi visual, seperti yang ditunjukkan dalam laporan ini.

Tujuh PC dipilih dalam PCA untuk menangkap 90% dari total varians dalam set data spektrum NIRS dari nodul tiroid, memenuhi ambang batas tertentu untuk total varians yang dijelaskan yang diinginkan dalam model klasifikasi. Lebih lanjut, kumpulan data NIRS dari sampel tiroid terdiri dari banyak fitur, dan PCA berfungsi untuk mengurangi dimensi, mengurangi beban komputasi dan potensi overfitting tanpa kehilangan informasi yang signifikan. Kumpulan data asli memiliki dimensi yang tinggi dan menguranginya menjadi tujuh PC dapat mewakili komponen variabel penting dalam data spektrum.

Kelompok yang berbeda dalam ruang PCA berfungsi sebagai dasar untuk klasifikasi. Sampel baru diklasifikasikan berdasarkan penempatannya dalam ruang ini sebagai gondok koloid atau kanker tiroid. Model klasifikasi tambahan dikembangkan menggunakan QDA dengan skor PCA. Hasil QDA disajikan pada Tabel I dan Gambar 5

Tabel 1. Hasil klasifikasi sampel nodul tiroid dengan metode *quadratic discriminat analysis* (QDA)

Aktual/Prediksi	Tiroid ganas/ <i>thyroid cancer</i>	Tiroid jinak/ <i>colloid goiter</i>
Tiroid ganas/ Thyroid cancer	10	1
Tiroid jinak/Colloid goiter	0	9



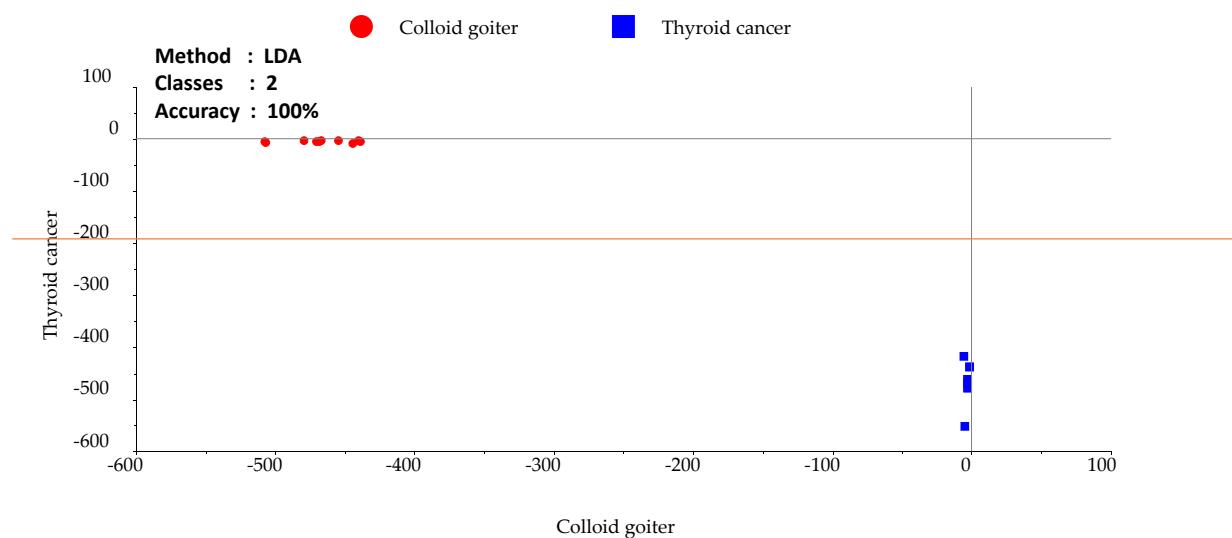
Gambar 5. Hasil klasifikasi nodul tiroid data spektrum NIRS dengan metode *quadratic discriminat analysis* (QDA)

Dalam skenario hipotetis dengan jumlah sampel total 20, model DA yang disempurnakan dengan QDA mencapai akurasi 95% dalam membedakan sampel nodul tiroid. Plot diskriminasi dari sampel-sampel ini, di mana setiap titik mewakili sampel individu dari gondok koloid atau kelompok kanker tiroid. Dengan akurasi 95%, kami mengharapkan pemisahan yang berbeda dalam plot, dengan sampel gondok koloid terutama di satu sisi dan sampel kanker tiroid terutama di sisi lain. Dalam spektrum NIRS dengan QDA, batas keputusan antara gondok koloid dan kelompok kanker tiroid adalah kuadratik. Ini memisahkan sampel berdasarkan probabilitas. Poin data pada satu diklasifikasikan ke dalam satu kelompok, dan di sisi lain. Dengan akurasi 95%, batas ini secara minimal hanya salah mengklasifikasikan 5% sampel.

Lebih lanjut, ketika LDA diterapkan pada tujuh PC yang berasal dari PCA, LDA mencapai tingkat akurasi 100% dalam mengklasifikasikan kanker tiroid dan gondok koloid dari data spektral NIR. Model LDA dapat membedakan kanker tiroid dari gondok koloid menggunakan data spektral NIR seperti yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Hasil klasifikasi sampel nodul tiroid dengan metode *linear discriminat analysis* (LDA)

Aktual/Prediksi	Tiroid ganas/thyroid cancer	Tiroid jinak/colloid goiter
Tiroid ganas/ Thyroid cancer	10	0
Tiroid jinak/Colloid goiter	0	10



Gambar 6. Hasil klasifikasi nodul tiroid data spektrum NIRS dengan metode *linear discriminat analysis* (LDA)

Metode LDA mengungguli QDA karena mengasumsikan matriks kovarians yang konsisten di seluruh kelas, sehingga memungkinkan *hyperplane linear* yang memaksimalkan jarak antar-kelas dan meminimalkan sebaran di dalam kelas. Keuntungan LDA terletak pada kesederhanaannya dan sering kali efisiensi pada set data yakni kovariansi kelas-kelas secara konsisten serupa (Li *et al.* 2021; Mishra *et al.* 2023; Yu *et al.* 2023). Sementara itu, dalam QDA, kelas-kelas tidak diasumsikan memiliki matriks kovarians yang sama. Setiap kelas dapat memiliki matriks kovarians yang berbeda. Hal ini berarti model ini dapat beradaptasi dengan distribusi data yang lebih fleksibel tetapi membutuhkan estimasi lebih banyak parameter, yang dapat menjadi masalah dengan ukuran sampel yang relatif kecil. Dalam penelitian ini, dengan hanya 20 sampel, LDA terbukti lebih efektif daripada QDA.

Temuan awal dalam penelitian ini, meskipun menjanjikan, masih bersifat pendahuluan dan memerlukan validasi dan eksplorasi lebih lanjut. Pekerjaan di masa depan harus mengintegrasikan hasil ini ke dalam pengembangan model prediktif, menekankan pada validasi eksternal, metrik kinerja alternatif, dan melindungi dari potensi terjemahan yang terlalu pas dari model pembelajaran mesin ke pengaturan klinis.

Secara singkat, plot diskriminasi QDA dan LDA secara jelas menunjukkan pemisahan yang berbeda antara sampel gondok koloid dan kanker tiroid, dengan tumpang tindih atau kesalahan klasifikasi yang minimal dan dilaporkan memiliki akurasi maksimum 100%. Representasi visual ini menawarkan wawasan intuitif tentang efektivitas model dan diferensiasi antara kedua kondisi medis ini berdasarkan fitur yang dianalisis. Potensi NIRS dalam membedakan berbagai jaringan dan kondisi tiroid merupakan area penelitian yang sedang berlangsung, dan interpretasi fitur-fitur khusus semakin berkembang dengan penemuan-penemuan baru dan teknologi NIRS yang disempurnakan.

KESIMPULAN

Spektroskopi inframerah dekat (NIRS) menawarkan alat diagnostik pelengkap non-invasif yang menjanjikan untuk membedakan nodul tiroid jinak dan ganas dengan akurasi yang tinggi. Studi ini menyoroti NIRS dan analisis data dalam memajukan diagnosis nodul tiroid, memperkuat alat non-invasif dalam pengaturan klinis, dan membuka jalan untuk aplikasi endokrinologi yang lebih luas. Meskipun mencapai akurasi yang luar biasa, penelitian di masa depan harus mengintegrasikan hasil ini ke dalam pengembangan model prediktif, menekankan validasi eksternal, dan uji coba secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dean DS, Gharib H. 2008. Epidemiology of thyroid nodules. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 22(6):901-911.
- El-Deiry WS, Goldberg RM, Lenz H-J, Shields AF, Gibney GT, Tan AR, Brown J, Eisenberg B, Heath EI, Phuphanich S, Kim E, Brenner AJ, Marshall JL. 2019. The current state of molecular testing in the treatment of patients with solid tumors, CA: *A Cancer Journal for Clinicians*, 69(4):305-343.
- Ghandoor HEL, Hegazi E, Nasser I, Behery GM. 2003. Measuring the refractive index of crude oil using a capillary tube interferometer. *Optics & Laser Technology*, 35(5):361-367.
- Li L, Jang X, Li B, Liu Y. 2021. Wavelength selection method for near-infrared spectroscopy based on standard-sample calibration transfer of mango and apple. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190:106448.
- Lin H, Zhao J, Chen Q, Zhou F, Sun L. 2011. Discrimination of radix *Pseudostellariae* according to geographical origins using NIR spectroscopy and support vector data description. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(5):1381-1385.
- Liu P, Zhu X, Hu X, Xiong A, Wen J, Li H, Ai S, Wu R. 2019. Local tangent space alignment and relevance vector machine as nonlinear methods for estimating sensory quality of tea using NIR spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 103:102923.
- Mishra P, Verschoor J, Vries MN, Polder G, Boer MP. 2023. Portable near-infrared spectral imaging combining deep learning and chemometrics for dry matter and soluble solids prediction in intact kiwifruit. *Infrared Physics and Technology*, 131:104677.
- Munawar AA, Kusumiyati, Andasuryani, Yusmanizar, Adrizal. 2024. near infrared technology coupled with different spectra correction approaches for fast and non-destructive prediction of chlorogenic acid on intact coffee beans. *Acta Technologica Agriculturae*, 27(1):23-29.
- Siripatrawan U, Makino Y. 2024. Molecular and biomolecular spectroscopy hyperspectral imaging coupled with machine learning for classification of anthracnose infection on mango fruit. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 309:123825.
- Tamhane S, Gharib H. 2016. Thyroid nodule update on diagnosis and management. *Clinical Diabetes and Endocrinology*, 2(1):1-10.

- Thewjitcharoen Y, Butadej S, Nakasatien S, Chotwanvirat P, Porramatikul S, Krittiyawong S, Lekpittaya N, Himathongkam T. 2019. Incidence and malignancy rates classified by The Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology (TBSRTC) – An 8-year tertiary center experience in Thailand. *Journal of Clinical & Translational Endocrinology*, 16:100175.
- Vaccarella S, Dal Maso L. 2021. Challenges in investigating risk factors for thyroid cancer. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*, 9(2):57-59.
- Vignali P, Macerola E, Poma AM, Sparavelli R, Basolo F. 2023. Indeterminate thyroid nodules: From cytology to molecular testing. *Diagnostics*, 13(18):3008.
- Xu S, Zhao Y, Wang M, Shi X. 2017. Determination of rice root density from Vis–NIR spectroscopy by support vector machine regression and spectral variable selection techniques. *Catena*, 157: 12-23.
- Yu S, Huan K, Liu X, Wang L, Cao X. 2023. Quantitative model of near infrared spectroscopy based on pretreatment combined with parallel convolution neural network. *Infrared Physics and Technology*, 132:104730.

FILM POLIIMID NANOKOMPOSIT BERBASIS SILIKA DARI ABU SEKAM PADI SEBAGAI MATERIAL ELEKTRONIK

Sri Aprilia, Zuhra, Cut Meurah Rosnelly, dan Khairul Rahmah

Departement Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Darussalam-Banda Aceh, Indonesia
Penulis korespondensi: sriapriliala@usk.ac.id

RINGKASAN

Material baru yang memiliki sifat-sifat yang unggul seperti lebih ringan, kuat, tahan korosi, tahan panas dan tegangan operasi yang tinggi merupakan karakteristik penting untuk menilai dan meningkatkan efisiensi penyimpanan energi bahan. Material ini merupakan bahan yang harus dikembangkan sebagai bahan material maju untuk menunjang industri di Indonesia. Salah satu polimer yang sering digunakan untuk insulasi listrik adalah polimer poliimid. Poliimid merupakan polimer yang dapat digunakan untuk bahan kemasan elektronik karena sifat termal dan mekanisnya yang baik. Di samping itu, poliimid memiliki sifat dielektrik yang rendah dan konstan, stabilitas termal tinggi dan penyimpanan modulus tinggi. Namun, poliimid menunjukkan konduktivitas termal yang tidak baik dan tidak dapat memenuhi persyaratan untuk konduksi panas yang cepat untuk perangkat elektronik canggih. Banyak studi, telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja transportasi termal menggunakan *filler* yang memiliki konduktivitas termal seperti bahan karbon, logam atau keramik dalam bahan polimer sebagai matriks. Salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan energi adalah dengan menambahkan nano-komposit dalam polimer sebagai matriks. *Filler* dengan ukuran nano ditambahkan dengan tujuan untuk membuat homogenitas tinggi dalam komposit. *Filler* (silika) diekstrak dari abu sekam padi untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut di atas, yang diisi pada polimer poliimid. Sehingga diperoleh material baru sebagai material elektronik dengan memanfaatkan sumber daya alam yaitu limbah pertanian abu sekam padi.

I. PENDAHULUAN

Perusahaan elektronik dan elektrik Indonesia belum siap menghadapi era Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) yang sedang berlangsung dari tahun 2016. Saat ini, pasar elektronik Indonesia masih dikuasai produk impor, termasuk produk yang berkualitas rendah. Memanfaatkan kemudahan impor, sebagian industriawan sudah beralih menjadi pedagang. Ini semua terjadi karena pemerintah Indonesia tidak memiliki visi dan industri elektronik tidak mendapat dukungan yang memadai. Ketidaksiapan industri elektronik Indonesia terlihat jelas pada serbuan produk-produk yang terus meningkat, kontribusi ekspor elektronik Indonesia terus menurun, dan lambatnya pertumbuhan serbuan elektronik dalam negeri. Hal ini juga bertujuan menyempurnakan *road map* yang sudah ada dengan visi 2030 yang menjadikan Indonesia sebagai negara industri yang kuat dan maju.

Salah satu usaha untuk meningkatkan hal tersebut di atas adalah dengan mengembangkan material baru yang memiliki transparansi tinggi dan tahan terhadap radiasi (Zhou *et al.* 2019). Material maju yang memiliki sifat-sifat yang lebih ringan, kuat, tahan korosi, tahan terhadap panas, dan tegangan operasi yang tinggi dan merupakan karakteristik penting untuk menilai dan meningkatkan efisiensi penyimpanan energi bahan (Chen *et al.* 2004).

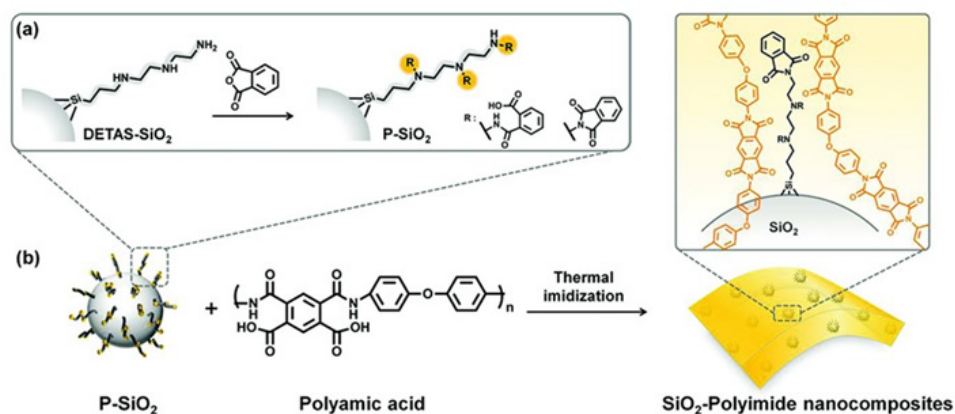
Poliimid merupakan polimer termoplastik yang dapat digunakan pada temperatur tinggi sebagai bahan elektrik karena memiliki sifat yang sangat baik terhadap termal dan oksidatif, sifat mekanik serta memiliki temperatur transisi glass yang tinggi. Namun, poliimid untuk konduktivitas termal masih kurang dan tidak dapat digunakan pada peralatan yang memiliki konduksi panas yang cepat (Ma *et al.* 2015). Untuk itu, perlu dicari solusi material yang baru yang dapat mengatasi hal tersebut. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menambahkan *filler* ke dalam matriks terutama dari bahan karbon, logam, atau keramik dalam memperkuat matriks polimer. *Filler* yang berukuran nano sangat diperlukan agar memiliki homogenitas tinggi dalam matriks (Huang *et al.* 2021). Distribusi partikel filler dalam matriks akan membuat material menjadi lebih baik dari sifat material semula. Morfologi material komposit yang baik merupakan faktor yang penting yang akan memengaruhi kekuatan dielektrik dan kerusakan listrik. Silika merupakan salah satu bahan *filler* yang diisi dalam polimer matriks, karena dapat meningkatkan sifat mekanik, optik dan elektrik. Variasi penambahan silika dalam poliimid merupakan studi dalam mendapatkan material poliimid nanokomposit yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan. Abdalla *et al.* 2016 menyatakan penambahan silika 5% akan meningkatkan listrik *breakdown* dari $2,69 \times 10^8$ volt/m sampai dengan $3,14 \times 10^8$ volt/m (Abdalla *et al.* 2016).

Pemanfaatan limbah pertanian seperti abu sekam padi adalah merupakan bahan silika yang terdapat dalam biomasa. Silika dapat diekstrak dari abu sekam padi sehingga akan meningkatkan nilai tambah dari limbah dan dimanfaatkan sebagai bahan *filler* yang diharapkan dapat diperoleh dalam ukuran nano. Penelitian ini diharapkan dapat diperoleh material baru yang berkontribusi dalam pemanfaatan limbah dan menjawab kebutuhan bahan material baru untuk keperluan industri elektronik.

II. KONSEP INOVASI/TEKNOLOGI

2.1 Poliimid Silika Nanokomposit

Polimer nano komposit adalah bahan ketika partikel anorganik dalam ukuran nano terdispersi di dalam polimer matriks. Biasanya ukuran partikel 10-100 Angstrom yang tersebar setidaknya satu dimensi dalam matriks (Tommalieh *et al.* 2011). Penelitian ini menggunakan polimer poliimid yang diperkuat silika. Gambar 1 berikut adalah bentuk dari sintesis poliimid silika nanokomposit.



Gambar 1. Sintesis poliimid silika nanokomposit

Strategi dalam meningkatkan kinerja transportasi termal pada poliimid komposit adalah dengan menambahkan bahan *filler*. *Filler* yang ditambahkan adalah dapat berupa karbon, logam dan keramik. Beberapa penelitian menambahkan nano partikel seperti; silika (SiO₂), tembaga (CuO), monmorilonit (clay), dan titanium oksida (TiO₂) (Seo *et al.* 2019). *Filler* sangat konduktif secara elektrik dan penambahan sedikit dalam poliimid akan menjadikan polimer menghasilkan listrik yang tinggi dan konduktivitas termal yang rendah (Imanzadeh *et al.* 2013; Huang *et al.* 2021).

Dalam meningkatkan ketahanan radiasi pada polimer silika nanokomposit mendapatkan hasil yang sangat baik pada badan pesawat ruang angkasa, yakni ketahanan terhadap korosi. Film polimer silika nanokomposit tahan terhadap panas dan memiliki sifat mekanik yang sangat baik (Peng *et al.* 2005).

2.2 Silika Dari Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan limbah padat pertanian yang merupakan hasil pembakaran dari kulit padi. Limbah padat pertanian merupakan biomasa yang banyak mengandung selulosa dan silika yang berbentuk serabut-serabut yang sangat keras. Silika merupakan senyawa anorganik yang terkandung dalam jerami dan kulit padi dan akan dihasilkan setelah perlakuan kimia dan diikuti dengan pembakaran. Limbah pertanian dari tanaman padi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jerami padi, kulit padi dan abu sekam padi

Silika nanopartikel memiliki sifat-sifat biokompatibilitas yang baik, toksisitas rendah, stabilitas termal, rute sintesis yang mudah, dan ketersediaan dalam skala besar (Amari *et al.* 2021). Ukuran partikel, kristalinitas, porositas dan bentuk dapat dimanipulasi secara tepat, memungkinkan digunakan untuk berbagai aplikasi. Silika nano partikel telah banyak digunakan dalam bidang seperti sumber energi, elektronik, sensor dan katalis (Uang *et al.* 2007; Ma *et al.* 2010).

III. HASIL/TEMUAN

3.1 Ekstraksi Silika

Proses ekstraksi silika dilakukan dengan mengambil abu sekam padi yang telah dikeringkan dalam oven selama 24 jam, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan *ball mill* selama 40 jam, lalu dicuci dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 80 °C selama 24 jam. Sampel direndam dengan menggunakan asam asetat dengan perbedaan konsentrasi, diaduk selama 1 jam pada kecepatan pengaduk 100 rpm. Kemudian sampel dicuci sampai pH netral. Lalu dikeringkan di dalam oven. Kemudian disaring dengan menggunakan ayakan 325 *mesh* untuk mendapatkan ukuran nano. Sampel yang sudah kering disimpan dan di analisis. Silika yang dihasilkan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Silika hasil ekstraksi

3.2 Preparasi Modifikasi Permukaan Silika

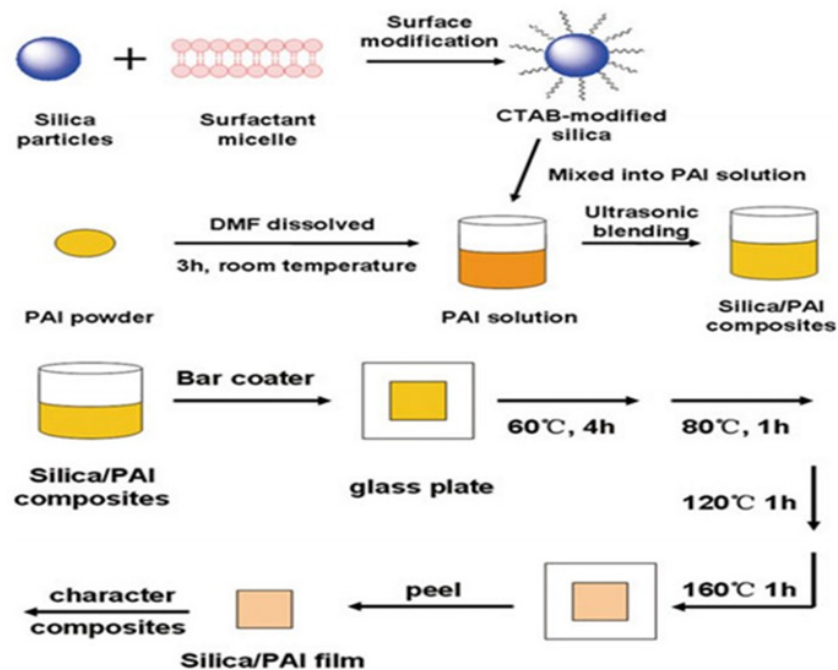
Dicampur 100 ml air deionisasi dan 1.000 g partikel silika ditambahkan ke labu, dan larutan diatur ke pH 8 dengan penambahan 0,1 M NaOH. Kemudian nanopartikel silika dimodifikasi pada 65 °C di bawah pengadukan konstan dengan CTAB ditambahkan ke dalam sistem. Untuk meningkatkan keadaan dispersi nanopartikel silika dalam matriks poliimid, jumlah CTAB menjadi nanopartikel silika divariasikan 0 menjadi 3,0% berat. Setelah proses modifikasi permukaan, partikel nano-silika yang dimodifikasi dikumpulkan dengan filtrasi hisap dan kemudian dikeringkan pada suhu 90 °C selama 6 jam. Poliimida silika nanokomposit selanjutnya dianalisis dan dikarakterisasi (Gambar 4).



Gambar 4. Nano silika diekstrak dari abu sekam padi

3.3 Pembuatan Poliimida Silika Nanokomposit

Film poliimida-silika nanokomposit dibuat melalui pencampuran ultrasonik sederhana. N,N-dimetil bentuk amida (DMF) digunakan sebagai pelarut dan 2,0 g bubuk poliimida dilarutkan dalam 3 ml DMF. Nanopartikel silika ditambahkan ke dalam larutan, jumlah silika yang ditambahkan di variasi 1, 2, dan 3% berat. Campuran didispersikan dengan ultrasonik selama 3 jam pada suhu kamar. Pada langkah selanjutnya, larutan campuran dicetak di atas pelat kaca persegi (5x5 cm) dengan menggunakan aplikator. Film awalnya dipanaskan untuk menghilangkan pelarut dalam oven dan temperatur dikontrol sebagai berikut: pada 60 °C selama 4 jam, pada 80 °C selama 2 jam, kemudian dinaikkan menjadi 120 °C selama 1 jam; akhirnya, film dipanaskan pada 160 °C selama 1 jam. Proses pembuatan film poliimide silika nanokomposit disajikan pada Gambar 5.

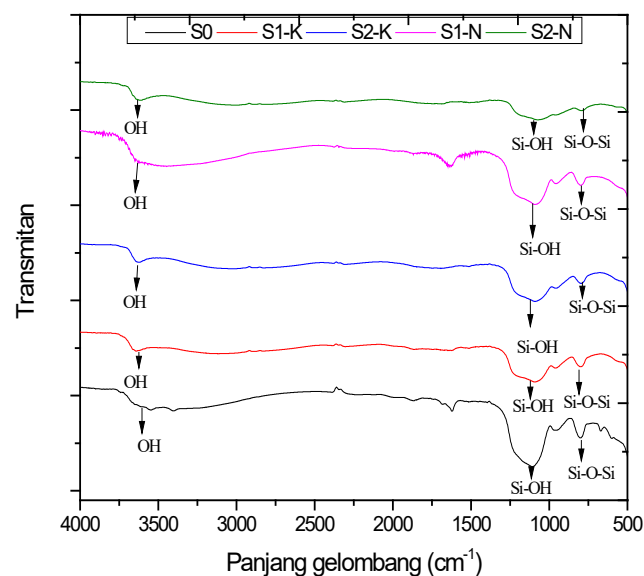


Gambar 5. Skema pembuatan poliimid silika nanokomposit

3.4 Analisis Gugus Fungsi Silika

Gugus fungsi nanosilika yang diekstrak dengan KOH dan NaOH dengan konsentrasi 1 M dan 2,5 M diamati dengan FTIR. Gambar 6 menunjukkan gugus fungsi nanosilika yang sama, pada panjang gelombang 1100,8 cm⁻¹ menunjukkan gugus silika siloksan (Si-O-Si), terdapat pada bilangan gelombang 457,29 cm⁻¹ dan 1074,76 cm⁻¹. Bilangan gelombang 790,8 cm⁻¹ menunjukkan gugus C-H, serta pita pada gelombang 3650,08 cm⁻¹ merupakan gugus silanol (Si-OH).

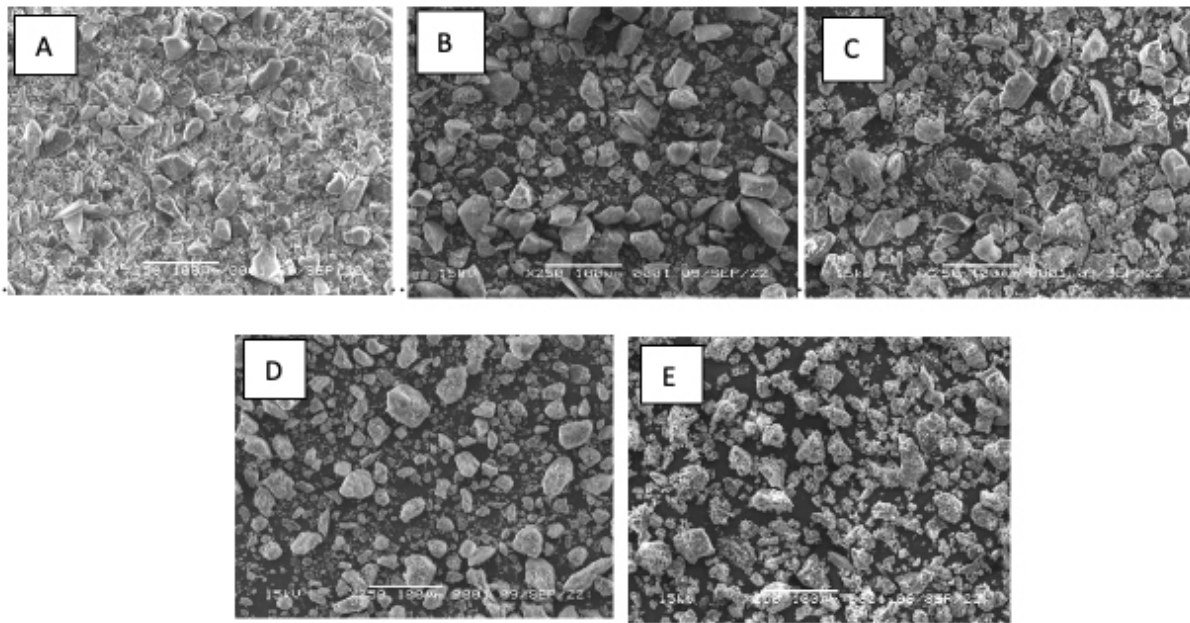
Kemurnian silika ditentukan oleh vibrasi ulur dari gugus Si-O dari siloksan terbentuk. Di mana peningkatan gugus O-H dapat mempengaruhi jumlah gugus silanol pada silika. Seiring meningkatnya gugus silanol pada partikel silika maka semakin mudah bereaksi dengan zat lain (Huang *et al.* 2021). Ma *et al.* (2015) menyatakan bahwa konsentrasi gugus silanol di setiap silika sangat memengaruhi percabangan dengan gugus fungsi organik lainnya.



Gambar 6. Gugus fungsi silika hasil ekstraksi dengan pelarut KOH dan NaOH

3.5 Analisis Struktur Silika

Silika amorf berhasil disintesis dengan ekstraksi dengan menggunakan KOH dan NaOH dengan konsentrasi 1 M dan 2,5 M, kemudian menggunakan refluks dilanjutkan dengan proses pengasaman menggunakan HCl. Pemindaian gambar mikroskop electron dari (SEM) silika amorf digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan. Pemotretan dilakukan pada perbesaran 250x. Gambar 7 menunjukkan bahwa butiran silika hasil sintesis dari sekam padi memiliki bentuk yang tidak beraturan dan berukuran 9-12 nm dengan perbesaran SEM yang konsentrasi berbeda dan menggunakan pelarut yang berbeda, dengan jelas menunjukkan bahwa ukuran butir dan berbagai ukuran dapat terlihat dengan jelas, yang menunjukkan bahwa silika yang disintesis dapat diidentifikasi sebagai silika mesopori heterogen. Permukaan yang berwarna cerah menunjukkan silika amorf, sedangkan permukaan berwarna gelap menunjukkan pori-pori rongga. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa silika hasil sintesis adalah silika tipe IV dengan struktur mesopori. Namun, struktur yang disintesis silika menunjukkan kecenderungan untuk menggumpal.

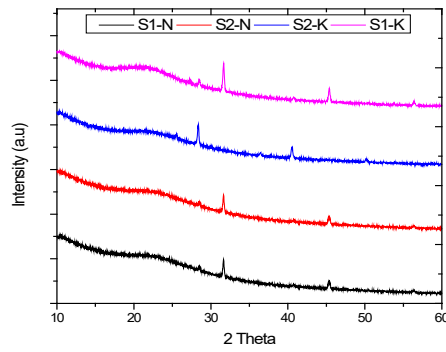


Gambar 7. SEM analisis untuk permukaan silika A. silika komersial B. S1-K, C. S2-K, D. S1-N dan E. S2-N

3.6 Kristalinitas Partikel

X-Ray Difraktometer (XRD) digunakan untuk menganalisis fasa kristalin dan ukuran kristal dalam suatu material. Silika yang dihasilkan dari abu sekam padi, tongkol jangung dan ampas tebu menunjukkan pola difraksi nano-silika yang ditemukan dalam analisis XRD. Nano-silika yang diperoleh dengan metode sol-gel memiliki sifat amorf, yang ditunjukkan oleh puncak 2θ berturut-turut yaitu = $22,18^\circ$, $21,28^\circ$, $23,27^\circ$. Ini mengikuti beberapa penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa silika yang disintesis dari abu sekam padi memiliki struktur amorf. Penggunaan biomasa yang berbeda dalam pembuatan silika berdasarkan karakterisasi XRD dapat mempengaruhi puncak-puncak difraksi pada silika dan berpengaruh terhadap ukuran kristal.

Pola XRD silika yang disintesis dari limbah sekam padi dengan berbagai konsentrasi natrium hidroksida dan metode pengasaman yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 8. Puncak tersebar luas dengan intensitas maksimum pada $2\theta = 22^\circ$ dapat diamati, menunjukkan sifat khas silika. Tak satu pun dari pola XRD dari sampel mana pun yang menunjukkan puncak tertentu atau puncak tajam. Silika yang diperoleh dengan ekstraksi alkali benar-benar amorf. Ini karena natrium hidroksida hanya melarutkan silika amorf, yaitu: kemudian diendapkan (Fernandes *et al.* 2016). Pola XRD silika yang dihasilkan dari RHA dengan pengasaman asam asetat mirip dengan silika yang dihasilkan dari RHA dengan pengasaman asam klorida, yang menunjukkan bahwa kedua bentuk silika adalah amorf. Struktur silika yang disintesis dari limbah sekam padi tergantung pada suhu ketika sekam padi dibakar untuk menghasilkan RHA. Menurut Badan Internasional untuk Penelitian pada Kanker, yang merupakan bagian dari Organisasi Kesehatan Dunia, kristal SiO_2 menimbulkan karsinogenik risiko bagi manusia (Mukherjee dan Roy 1991). Memanaskan sekam padi pada suhu lebih dari 900°C menghasilkan RHA dengan struktur yang sangat teratur. Dalam penelitian ini, semua sampel dibakar menggunakan pembakaran terkontrol pada 700°C selama 5 jam dalam tungku listrik.

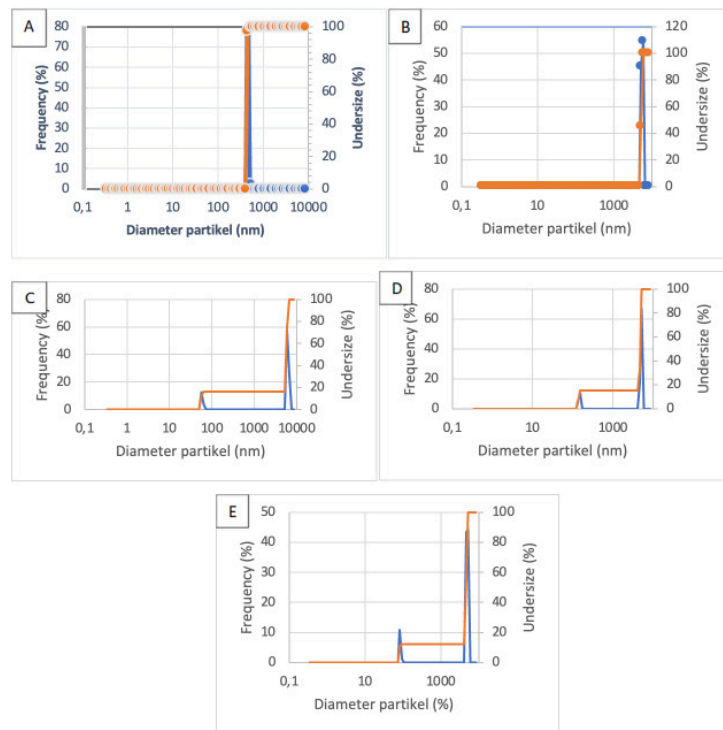


Gambar 8. Analisis XRD untuk silika yang diekstrak dengan KOH dan NaOH dengan konsentrasi 1M dan 2,5M

3.7 Ukuran Partikel Silika

Semua silika yang diekstrak dari abu sekam padi yang dihasilkan memiliki distribusi ukuran partikel yang sempit. Pada silika komersial diperoleh ukuran partikel rata-rata sebesar 428,4 nm. Untuk silika hasil ekstraksi dengan KOH konsentrasi 1 M (S1-K) memiliki ukuran partikel rata-rata sebesar 2938,4 nm. Ekstraksi silika dengan pelarut KOH pada konsentrasi 2,5M adalah sebesar 2921 nm. Ekstraksi silika dari abu sekam padi dengan menggunakan pelarut NaOH 1 M adalah sebesar 4835.9 nm. Ekstraksi silika dari abu sekam padi dengan menggunakan NaOH konsentrasi 1 M adalah sebesar 4628,5 nm, dan ekstraksi silika dengan konsentrasi NaOH 2,5M adalah sebesar 3091 nm.

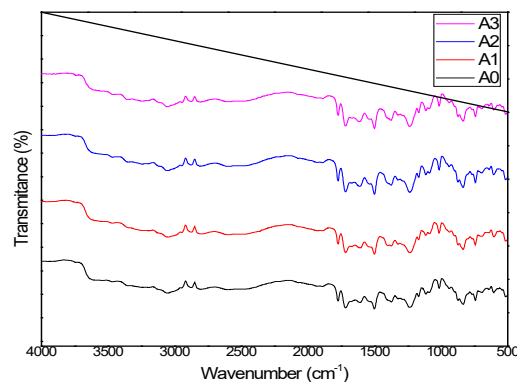
Dari Gambar 9 terlihat distribusi ukuran partikel yang sempit. Meningkatnya konsentrasi pelarut ukuran partikel menjadi lebih kecil. Silika dengan pelarut KOH menghasilkan ukuran partikel lebih kecil pada konsentrasi pelarut yang sama.



Gambar 9. Analisis ukuran partikel

3.8 Gugus Fungsi Poliimida Nanokomposit

Perubahan pada puncak serapan dari gugus fungsi yang sesuai dari film nanokomposit poliimida nanosilika, dianalisis dengan menggunakan spektrometer inframerah FT-IR. Spektrum FT-IR dari film komposit dengan kandungan SiO_2 yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 10. Ada empat puncak utama untuk semua film komposit dengan kandungan SiO_2 yang berbeda yang terletak pada 1784 cm^{-1} , 1725 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} dan 717 cm^{-1} , yang sesuai dengan puncak serapan getaran ekstensional asimetris C=O, puncak serapan getaran ekstensional simetris C=O, puncak serapan getaran ekstensional cincin imina C-N-C, dan puncak serapan getaran lentur C=O. Selain itu, tidak ada puncak serapan ikatan amida pada 1660 cm^{-1} di semua sampel, yang menunjukkan bahwa proses imidasi termal telah selesai (Huang *et al.* 2021). Ada perbedaan yang jelas pada $1000\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$ antara film komposit polimida dan poliimida-silika setelah membandingkan semua spektrum FT-IR. Puncak serapan karakteristik ikatan Si-O-Si muncul pada 1084 cm^{-1} . Dengan peningkatan kandungan SiO_2 , puncak serapan karakteristik ikatan Si-O-Si secara bertahap melebar. Puncak serapan getaran peregangan asimetris ikatan Si-O-Si siklik muncul pada 1174 cm^{-1} , yang menunjukkan bahwa komponen organik/anorganik dalam sistem komposit ada dalam bentuk ikatan kimia, yang membentuk struktur jaringan spasial ikatan silang, yaitu struktur komposit interaksi kuat antara poliimida dan silika.

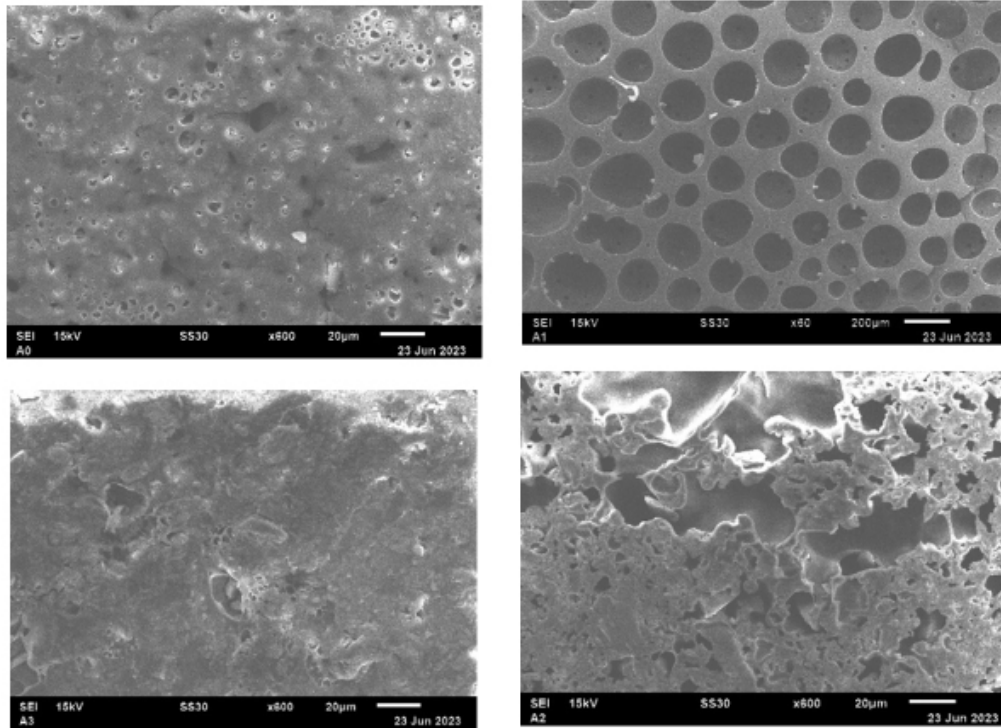


Gambar 10. Gugus fungsi poliimida dan silika

3.9 Struktur Permukaan Poliimida Silika Nanokomposit

Gambar 11 menunjukkan bahwa film komposit yang disiapkan dengan metode polimerisasi *in situ* lebih kondusif terhadap dispersi nanosilika dalam matriks polimer daripada film yang disiapkan dengan metode lain. Peningkatan kandungan nanosilika, interaksi antara nanopartikel meningkat, dan fenomena agregasi dan bahkan aglomerasi parsial secara bertahap muncul.

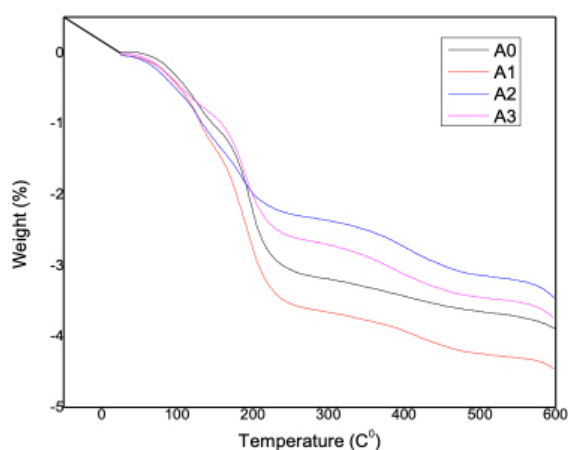
Morfologi permukaan yang retak dijelaskan dengan SEM untuk menyelidiki distribusi silika dan pemisahan mikrofasa dalam matriks. Terlihat bahwa permukaan partikel komposit poliimida nanosilika tidak halus dan berlubang setelah tergores dalam larutan asam hidrof luorida. Lubang-lubang ini mungkin tertinggal karena silikon telah dibuang. Berdasarkan jumlah lubang di lapisan permukaan mikrosfer (Gambar 11), partikel nanosilika pernah berada di permukaan bola poliimida, dan juga menunjukkan bahwa diameter lubang yang merupakan diameter partikel silika berskala nano. Lebih jauh, partikel komposit tetap berbentuk hemisfer. Hal ini mungkin karena kandungan silikon total relatif rendah, sehingga penghilangan silikon di permukaan tidak membuat poliimida yang kandungannya lebih tinggi dan jelas berada dalam status utama membuat mikrosfer tetap berbentuk setengah bola, dan memengaruhi morfologi partikel akhir.



Gambar 11. Struktur permukaan poliimida komposit nanosilika

3.10 Sifat Termal Poliimida Silika Nanokomposit

Gambar 13 menunjukkan kurva TGA dari film komposit poliimida silika nanokomposit dengan kandungan silika yang berbeda. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa dengan peningkatan kandungan silika, suhu dekomposisi komposit meningkat. Selain itu, laju residu pada 700 °C juga meningkat dengan peningkatan kandungan silika. Ada dua alasan utama untuk peningkatan stabilitas termal film poliimida silika nanokomposit yaitu Pertama, partikel SiO_2 memiliki ketahanan panas yang sangat baik. Ketika mereka tersebar secara merata dalam matriks poliimida pada tingkat nanometer, mereka akan membentuk struktur ikatan silang antara kelompok karbonil dalam rantai molekul polimida dan gugus hidroksil silil SiO_2 . Sampai batas tertentu, getaran termal poliimida terhambat, sehingga membantu meningkatkan stabilitas termal. Seiring meningkatnya kandungan silika, tingkat ikatan silang juga meningkat, stabilitas termal juga meningkat. Kedua, partikel nanosilika dihubungkan ke rantai utama poliimida melalui aksi silana, yang selanjutnya membatasi pergerakan termal rantai makromolekul polimida. Semakin banyak silika yang ditambahkan, semakin banyak fase silika dan rantai utama poliimida, semakin kuat interaksinya, yang meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk memutus rantai makromolekul selama proses pemanasan dan selanjutnya meningkatkan stabilitas termal film komposit.



Gambar 13. TGA film poliimida silika nanokomposit

IV KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa nanosilika yang diekstrak dari abu sekam padi mampu menggantikan silika dari anorganik dan menghasilkan silika dalam skala 2900 – 4000 nm. Apabila dilakukan penghalusan terhadap silika maka inovasi ini dapat dihasilkan nanosilika bari bahan organik yaitu abu sekam padi yang merupakan pemanfaatan limbah padat pertanian. Pengenalan gugus hidroksil pada poliimida menghasilkan peningkatan kelarutan poliimida dan peningkatan kompatibilitas poliimida dengan silika. Hal ini disebabkan oleh kondensasi parsial antara gugus hidroksil dan silanol pada suhu tinggi. Demikian juga dengan struktur dari permukaan film poliimide silika nanokomposit merupakan struktur dengan lubang pada poliimida. Film poliimida silika nanokomposit merupakan bahan elektronik yang memiliki sifat-sifat yang baik terutama pada sifat stabilitas termal yang baik setelah ditambahkan nanosilika dari abu sekam padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla S, Al-Marzouki F, Obaid A, Gamal S. 2016. Effect of addition of colloidal silica to films of polyimide, polyvinylpyridine, polystyrene, and polymethylmethacrylate nano-composites. *Materials*, 9(2):104.
- Amari A, Alzahrani FM, Katubi KM, Alsaiani NS, Tahoon MA, Rebah F Ben. 2021. Clay-polymer nanocomposites: Preparations and utilization for pollutants removal. *Materials*, 14(6):1365.
- Chen B, Chiu T, Tsay S. 2004. Synthesis and characterization of polyimide/silica hybrid nanocomposites. *Chemistry of Materials*, 11(5):1216-1222.
- Fernandes JJ, Calheiro D, Sánchez FAL, Camacho ALD, Rocha TLAC, Moraes CAM, Sousa PC. 2017. Characterization of silica produced from rice husk ash: Comparison of purification and processing methods. *Materials Research*, 20(2): 519-525.
- Huang J, Zhang G, Dong B, Liu J. 2021. Synthesis and properties of polyimide silica nanocomposite film with high transparent and radiation resistance, *Nanomaterials*, 11(3):562.
- Imanzadeh G, Atghia SV. 2013. Synthesis and properties of new polyimide/clay nanocomposite films. *Bulletin of Materials Science*, 36(5):789-798.
- Ma L, Yang Y, He C, Jia Z. 2015. In situ preparation and characterization of polyimide/silica composite hemispheres by inverse aqueous emulsion technique and sol-gel method. *Colloid Polymer Science*, 293:1281-1287.

- Ma X, Oh NLH. 2010. Preparation and characterization of silica/polyamide-imide nanocomposite thin films. *Nanoscale Research Letters*, 5(11):1846-1851.
- Peng F, Lu L, Sun H, Wang Y, Liu J, Jiang Z. 2005. Hybrid organic-inorganic membrane: Solving the tradeoff between permeability and selectivity. *Chemistry of Materials*, 17(26):6790-6796.
- Seo K, Nam K, Lee S, Han H. 2020. Low stress polyimide/silica nanocomposites as dielectrics for wafer level chip scale packaging. *Materials Letters*, 263:127204.
- Tommalieh MJ, Zihlif AM, Ragosta G. 2011. Electrical and thermal properties of polyimide/silica nanocomposite. *Journal of Experimental Nanoscience*, 6(6):652-664.
- Uang JH, En YW, Ang CK, Eh MY. 2007. Preparation of polyimide-silica nanocomposites from nanoscale colloidal silica. *Polymer Journal*, 39(7):654-658.
- Zhou Y, Wu S, Liu F. 2019. High-performance polyimide nanocomposites with polydopamine-coated copper nanoparticles and nanowires for electronic applications. *Materials Letters*, 237:19-21.



JOS NESHA SEJATI



MAJU BERSAMA MEDCO E&P MALAKA

Medco E&P Malaka sebagai Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS), diberi kepercayaan beroperasi oleh Pemerintah di Blok A, Kabupaten Aceh Timur, Propinsi Aceh untuk memenuhi kebutuhan energi rakyat Aceh. Dalam melaksanakan tugasnya ini, Perusahaan membutuhkan dukungan dari pemangku kepentingan sehingga dapat terus memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar area operasi dan mempertahankan ketersediaan energi domestik.



www.medcoenergi.com



ligin'

by mandiri

#BeyondSuperAPP



Info: bmri.id/beyondsuperapp



MITA 08118414000 | mandiri call 14000
www.bankmandiri.co.id

Bank Mandiri Berdiri dan Diawasi Oleh Otoritas Jasa Keuangan dan Bank Indonesia
Serta Menjadi Peserta Perlindungan LPS

CREATING SPACE FOR BETTER HUMAN'S LIFE


 Member of PT. Dewantara
WKA GEDUNG - NINDYA | KSO

www.wikagedung.co.id






[ptwikagedungID](#)

[WEGE Podcast](#)
 @nindyakarya
  @ptnindyakarya
 
 Nindya Karya






JAPFA

PT. INDOJAYA AGRINUSA



COMFEED
BROILER I SP
PAKAN LENGKAP AYAM PEDAGING
UMUR : 8 - 21 HARI



COMFEED
BROILER II
PAKAN LENGKAP AYAM PEDAGING
UMUR : > 21 HARI - PANEN



COMFEED
ABS
AYAM BURAS SUPER
UMUR : > 4 - 20 MINGGU



COMFEED
PUYUH PETELUR NF
PAKAN PUYUH PETELUR
UMUR > 7 MINGGU



COMFEED
PAR LI SUPER
PAKAN LENGKAP AYAM PETELUR
UMUR : 19 - 50 MINGGU



COMFEED
GF 512
PAKAN LENGKAP AYAM PEDAGING
UMUR : > 21 HARI - PANEN



COMFEED
ATIK B SUPER RED
PAKAN LENGKAP ITIK PETELUR
UMUR : 18 MINGGU



Pilar Sosial

SBA Cerdas - Fokus pada bidang pendidikan sebagai upaya peningkatan kualitas pendidikan di masyarakat.



SBA Peduli - Fokus pada bidang sosial, agama dan budaya yang berbasis kearifan lokal.



SBA Sehat - Fokus pada bidang kesehatan dengan mendorong perilaku hidup sehat dan sanitasi yang baik.



@SemenAndalasID @SemenAndalasID

Pilar Lingkungan

SBA Lestari - Fokus pada bidang pelestarian lingkungan hidup sebagai upaya menjaga ekosistem yang seimbang.



Pilar Ekonomi

SBA Mandiri - Fokus pada bidang pemberdayaan ekonomi sebagai upaya meningkatkan taraf hidup masyarakat.



Untuk Perlindungan Kuat dan Tahan Lama

Semen Andalus Multifungsi kini dengan **Active Micro Particle**, butiran mikro yang mampu mengisi rongga dengan sempurna sehingga hasil akhir kuat dan tahan lama.



Kuatnya Melindungi



PT JAYA KELANA ABADI INDONESIA

Jl. Ciputat Raya No. 7 - 8, Kel. Kebayoran Lama Selatan, Kec. Kebayoran Lama
Kota Jakarta Selatan, Indonesia 12240

(021) 7265209, 7265210, 7291822, 7291827

(021) 7207972

jka92@hotmail.com

www.jayakelana.co.id

BUMI UNTUK INDONESIA

PUPUK INDONESIA
HOLDING COMPANY



NPK-PIM

Manfaat :

- Mengandung unsur hara makro yang lengkap untuk pertumbuhan dan peningkatan kualitas buah
- Meningkatkan daya tahan terhadap serangan hama dan merangsang pertumbuhan akar
- Menjadikan tanaman lebih hijau dan subur

Kandungan :

- Nitrogen (N) : 15%
- Fosfat (P2O5) : 15%
- Kalium (K) : 15 %

PHONSKA PLUS

Manfaat :

- Memacu pertumbuhan akar dan pembentukan perakaran yang terbaik
- Membuat tanaman lebih hijau segar
- Meningkatkan daya tahan terhadap serangan hama penyakit dan kekeringan
- Meningkatkan mutu benih & bibit

Kandungan :

- Nitrogen (N) : 16%
- Fosfat (P2O5) : 16%
- Kalium (K) : 16 %

NITREA

Manfaat :

- Meningkatkan hasil panen
- Membuat tanaman lebih hijau segar
- Meningkatkan daya tahan terhadap serangan hama penyakit dan kekeringan
- Meningkatkan mutu benih dan bibit

Kandungan :

- Nitrogen (N) : 46%



Customer Service :
0811-6711-222
PT Pupuk Iskandar Muda

Hotline :
0800-1008-001
PT Pupuk Iskandar Muda

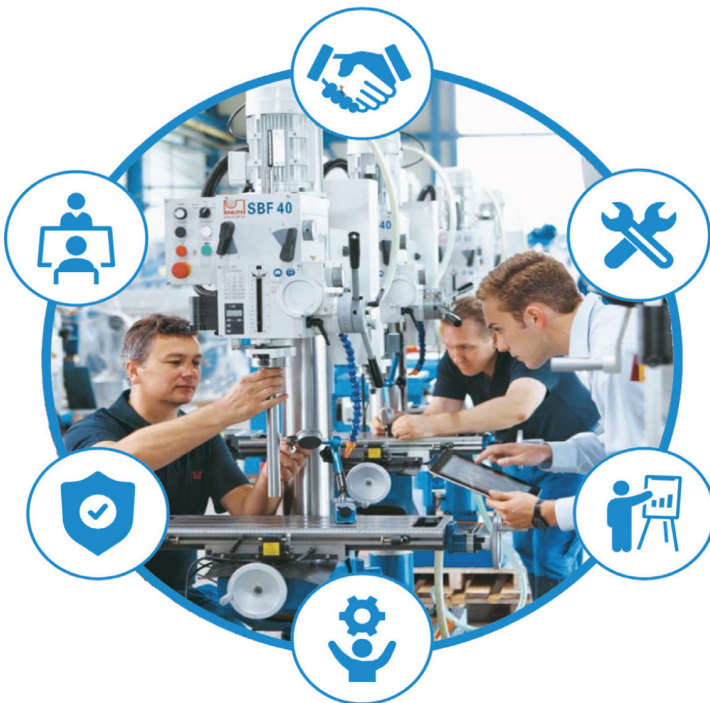
Makmur Rekan
PUPUK INDONESIA

Pupuk Iskandar Muda
 @PIMACEH
 pimkambangga
 PT Pupuk Iskandar Muda
 pupuk.iskandarmuda
 www.pim.co.id



PT. BUANA PRIMA RAYA

ONE STOP SOLUTION FOR EDUCATION AND INDUSTRIAL EQUIPMENT



- We supply education equipment completed version and continuously.
- Starting from basic level to advanced level.
- Many kinds from electric, electronics, machine work, robotics, etc.



www.buanaprimaraya.com



**Harbour
Energy**



WASKITA KARYA – FYP KARYA PERDANA KSO

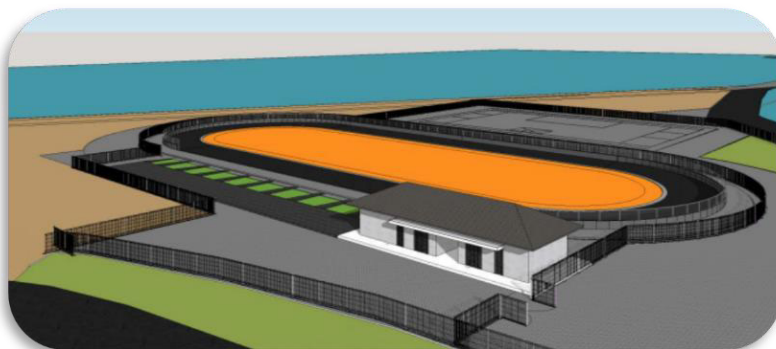


Venue Lapangan Bola

Venue Lapangan tembak



Venue Sepatu Roda



Venue Kolam Renang
Tirta Raya



YAKIN PRODUK OBAT DAN MAKANAN MU AMAN ?

Selalu pastikan untuk melakukan **CEK KLIK** sebelum membeli produk

CEK KEMASAN

Pastikan kemasan produk yang anda beli tidak penyok, terbuka, dan tidak rusak.



CEK IZIN EDAR

Pastikan produk yang anda beli telah memiliki izin edar

CEK LABEL

Pastikan label pada kemasan produk yang anda beli terbaca dengan jelas dan pastikan membaca dengan seksama informasi yang tertera pada label

CEK KEDALUWARSA

Pastikan produk yang anda beli telah belum memasuki masa kedaluwarsa

Dan download aplikasi **BPOM Mobile** di ponsel anda untuk memastikan legalitas produk yang anda beli !



BPOM MOBILE



TERSEDIA DI



SCAN PRODUK

Verifikasi produk terdaftar di Badan POM melalui scan 2D barcode



RIWAYAT SCAN

Jejak rekam pencarian produk yang pernah dicari



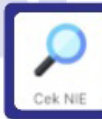
PENGADUAN

Melaporkan keluhan / masalah produk



LINK APLIKASI

Berisikan link list aplikasi yang berhubungan dengan Badan POM



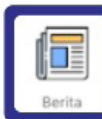
CEK NIE

Verifikasi produk terdaftar di Badan POM melalui cek info produk



LAPOR IKLAN

Melaporkan jika ada iklan yang tidak sesuai



BERITA

Berita / penjelasan terbaru terkait pengawasan obat dan makanan



Jln. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuh No.110
Telp : (0651) 23926, Fax : (0651) 22735
Banda Aceh, Provinsi Aceh - 23126



TERIMAKASIH KEPADA PARA SPONSOR

- PT PREMIER OIL ANDAMAN LIMITED
- BPPOM ACEH
- PT MEDCO EP MALAKA
- UNIVERSITAS ABULYATAMA
- PT. BANK SYARIAH INDONESIA TBK
- PT WASKITA KARYA (PERSERO) TBK -
PT FYP KARYA PERDANA KSO
- PT WIJAYA KARYA BANGUNAN GEDUNG TBK -
PT NINDYA KARYA (PERSERO) KSO
- PT PUPUK ISKANDAR MUDA
- PT BANK MANDIRI (PERSERI)TBK
- PT BUANA PRIMA RAYA
- PT BANK BTN SYARIAH
- PT HUTAMA KARYA
- PT PERTAMINA HULU ENERGI NSO
- PT INDOJAYA AGRINUSA
- PT SOLUSI BANGUN ANDALAS
- PT JAYA KELANA ABADI INDONESIA

