

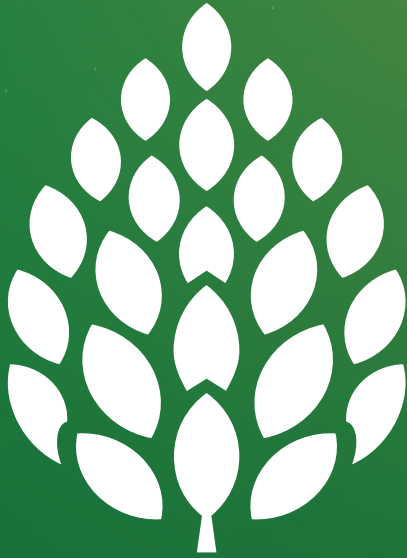


KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P

**PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA**
2026



GRANT RISET SAWIT 2026

Ringkasan Penelitian

BADAN PENGELOLA DANA PERKEBUNAN (BPDP)
Gedung Surachman Tjokrodisurjo
Jl. Medan Merdeka Timur No.16 RT 07 / RW 01
Kec. Gambir, Jakarta Pusat. 10110.

bpbd.or.id | [@bpbd.id](https://www.instagram.com/bpbd.id)

Eddy Abdurrachman

Direktur Utama
Badan Pengelola Dana Perkebunan



Kata Pengantar

Program penelitian dan pengembangan perkebunan kelapa sawit dari aspek hulu hingga hilir yang dikembangkan oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP) merupakan salah satu upaya BPDP dalam melakukan penguatan, pengembangan, dan peningkatan pemberdayaan perkebunan serta industri kelapa sawit nasional. Upaya tersebut dilaksanakan secara sinergis antara sektor hulu dan hilir guna mewujudkan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Intensifikasi kegiatan riset di bidang kelapa sawit dilakukan secara komprehensif, serta hasil risetnya dipublikasikan melalui berbagai kegiatan, baik di tingkat nasional maupun internasional. Dalam melaksanakan penelitian dan pengembangan kelapa sawit tersebut, diperlukan dukungan riset yang kuat, terarah, dan didukung dengan pendanaan yang memadai.

Program Grant Riset Sawit merupakan program dalam rangka meningkatkan penelitian dan pengembangan kelapa sawit yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pelaksanaan program ini memperhatikan beberapa aspek, yaitu peningkatan produktivitas dan efisiensi, peningkatan aspek keberlanjutan (sustainability), mendorong penciptaan produk dan pasar baru, serta peningkatan kesejahteraan petani.

Buku Ringkasan Riset 2026 merupakan media diseminasi hasil penelitian yang telah dilaksanakan pada tahun 2021, 2022, 2023, dan 2024. BPDP sebelumnya adalah BPDPS juga telah menerbitkan Buku Ringkasan Penelitian tahun 2015, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, dan 2023.

Buku ini memuat ringkasan hasil, output, kemajuan, dan produk penelitian yang telah dicapai, termasuk manfaat penelitian dan publikasi. Buku ini diharapkan dapat menjadi jembatan informasi bagi para pemangku kepentingan kelapa sawit, baik industri, pemerintah, petani, maupun masyarakat, untuk membangun kerja sama dengan para peneliti dalam mendorong komersialisasi hasil riset guna mencapai target hilirisasi kelapa sawit nasional serta menghasilkan rekomendasi kebijakan strategis.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini, khususnya Komite Pengarah beserta tim sekretariatnya, Dewan Pengawas BPDP, Komite Penelitian dan Pengembangan dan para narasumber, seluruh peneliti Grant Riset Sawit, serta berbagai pihak lainnya yang turut memperkaya isi buku ini.

Akhir kata, untuk mendukung sektor kelapa sawit yang sangat besar dan strategis, apa yang telah kita lakukan hingga saat ini tentu masih jauh dari cukup. Oleh karena itu, berbagai upaya perlu terus dilakukan secara kolaboratif oleh seluruh pihak terkait dalam mendukung penelitian dan pengembangan guna mewujudkan industri kelapa sawit nasional yang berkelanjutan.

Jakarta, Juli 2026



Tentang

Pengarah :

Eddy Abdurrachman (Direktur Utama)

Penanggung Jawab :

Mohammad Alfansyah
(Direktur Penyaluran Dana Sektor Hilir)

Koordinator :

Rahmat Widiana
(Kepala Divisi Program Penyaluran Dana Riset)

Sekretariat :

Fitriyah, Safira Ayu Bestari, Ira Usdiana Saputri, Mhd Feri Desfri

Alamat Redaksi :

Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP)
Gedung Surachman Tjokrodisurjo
Jl. Medan Merdeka Timur No.16 RT 07 / RW 01
Kec. Gambir, Jakarta Pusat. 10110.

Telp. 021-39832091-94; Fax 021-39832095

Email : dit4bpdpsawit@bpdp.id

Website : bpdp.or.id

Komite Litbang :

Prof. (Ris.) Dr. Ir. Didiek Hadjar Goenadi, M.Sc., Dr. Tony Liwang, Prof. Udin Hasanudin, Prof. Dr. Ir. I.G.B. Ngurah Makertihartha, Dr. Ir. Jenny Elisabeth, M.S., Dr. Arief R.M. Akbar, Prof. Dr. Bustanul Arifin, Dr. Aiyen Tjoa, Dr. Agung Wahyu Susilo, S.P., M.P., Jelfina Costansje Alouw, Ph.D., Prof. Dr. Eng. Agus Haryono, Herbert Wibert Victor Hasudungan, Ph.D., Krisna Septiningrum, S.Si., M.Si., Ph.D., Ebi Rulianti, S.P., M.Sc., Rifan Ardianto, S.Si., M.Si., Ph.D.

Kontributor :

Peneliti Grant Riset Sawit K22, K23 dan K24

Artistik/Design :

Mhd Ferry Desfri, Kandha Aditya Sandjoyo, Fiqih Yogantara, Taufiqurrokhman

Daftar Isi



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

Bioenergi

Studi Pengaruh Katalis Alumina Dalam Proses Catalytic Cracking pada Crude Palm Oil (CPO) dan Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) untuk Produksi Bahan Bakar Biogasoline	01	Peningkatan Nilai Tambah Gliserol Melalui Reaksi Dehidrasi-Oksidasi Menjadi Asam Akrilat	13
Pengembangan Teknologi Reaktor dan Kajian Teknoekonomi dalam Hidrolisis Minyak Sawit Menjadi Asam Lemak dan Gliserol Menggunakan Enzim Amobil pada Temperatur dan Tekanan Rendah	03	Teknologi Produksi Biodiesel dari PFAD dengan Bubble Column Reactor Secara Non-Katalitik pada Tekanan Atmosferik Melalui Aplikasi Fine Bubble	15
Pengembangan Metode Produksi Enzim Selulase Untuk Mendukung Produksi Bioetanol Generasi Kedua	05	Pengembangan Teknologi Dekarboksilasi Fotokatalitik untuk Produksi Biohidrokarbon dari Minyak Sawit dan Asam Asam Lemaknya pada Temperatur dan Tekanan Ambien	17
Pengembangan Distilasi dan Ekstraksi Furfural Berbasis Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Skala Pilot	07	Pemanfaatan Gliserol Sebagai Media Pelarut dan Perekat Prekursor Sel Surya CZTS Diintegrasikan Pada Genteng Rumah	19
Inovasi Lanjut Katalis & Teknologi Bensin Sawit dan Pengembangan Teknologi Produksi Percontohan Mixed Industrial Vegetable Oil (MIVO) dan Minyak Makan Sehat dari Kelapa Sawit	09	Pengembangan Teknologi Produksi Asam Laktat Dan Asam Format Melalui Hidrogenasi Pemindahan Katalitik CO ₂ Oleh Gliserol	21
Optimalisasi Penggunaan Palm Acid Oil (PAO) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel Untuk Industri Sawit Di Indonesia	11		

Bio-material / Oleokimia

Produksi Skala Pilot "Lithium Grease" Multifungsi Berbahan Baku Minyak Kotor (MIKO)/Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Mikrogelombang dalam Rangka Mewujudkan Ekonomi Sirkular	24	Pengembangan Penggunaan Gliserol dari Limbah Produksi Biodiesel menjadi Bioaditif Asetin sebagai Peningkat Fluiditas Biodiesel	32
Sintesis Alkyd Resin Berbasis Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) dan Aplikasinya Sebagai Coating Material	26	Pengembangan Komposit Campuran (Hybrid) Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Serat Gelas yang Diperkuat Poliester untuk Aplikasi Material Plafon Rumah.	34
Pengembangan dan Produksi Wood Plastic Composite (WPC) Berbahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Aplikasi Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan	28	Pengembangan Material Biocomposite Foamed Concrete Berbasis Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Dan Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit (Ab Pks) Dan Aplikasinya Untuk Median Jalan Temporer	36
Produksi Hidrogel Berbasis Selulosa Mikrokristalin dan Karboksilmetil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Aplikasi Biowrapping dan Absorbent Pad	30		

Lahan / Tanah / Bibit / Budidaya

Safira: Sawit Efisien Hara	39	Pengayaan Bahan Aktif Fungisida Organik Ganor untuk Meningkatkan Efikasinya Terhadap Ganoderma	43
Pengembangan Referensi Pan-Genom dan Penerapan Association Studies pada Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) sebagai Percepatan Riset Bioteknologi dan Pemuliaan Kelapa Sawit di Indonesia	41	Sistem Deteksi Dini Jamur Ganoderma Pada Tanaman Kelapa Sawit Menggunakan Sistem Radar SIL (Self-Injection-Locked) Portable	45

Daftar Isi

Pemanfaatan <i>Tetragona Laeviceps</i> sebagai Komplemen Penyerbuk Kelapa Sawit dalam Upaya Peningkatan Produktivitas dan Integrasinya untuk Menambah Pendapatan Petani Sawit Rakyat	47	Strategi Pengembangan Obat Anti Fungi Selektif dan Kuat untuk Pengendalian Kuratif Serangan <i>Ganoderma boninense</i> Resisten Fungisida Heksakonazole Berbasis Lipopeptida Novel Tahan Panas Dan UV dari <i>Streptomyces</i> GBSR1	57
iFovib_G, Robot Berbasis Teknologi Foton dan Vibrasi untuk Deteksi Dini dan Kuratif Serangan <i>Ganoderma boninense</i> pada Kelapa Sawit	49	Produksi Insektisida dan Atraktan dari Tanaman Hujan Emas <i>Senna</i> multijuga untuk Mengendalikan <i>Oryctes rhinoceros</i> pada Tanaman Kelapa Sawit	59
Intermittent Fertilizer Spreader Hemat Pupuk dan Presisi untuk TBM Kelapa Sawit	51	Integrasi Drone Multi Sensor untuk Optimasi Proses Penyerbukan Kelapa Sawit	61
Pengembangan Teknologi Kuratif Berbasis Nonsell-DNA <i>Ganoderma</i> (G-Fung) Untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang	53	Pre Breeding dan Speed Breeding Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit untuk Pengembangan Varietas Toleran terhadap Cekaman Kekeringan	63
Pengembangan Marka Molekuler Untuk Kelapa Sawit Efisien Penyerapan Nutrisi Fosfat	55		

Pangan / Kesehatan

RAMAN-QA Software Platform for Palm Oil Quality Analysis	66	Pengaruh Suplementasi Red Palm Oil pada Diet Ibu Hamil terhadap Kualitas Air Susu Ibu dan Outcome Kehamilan	70
Pengembangan Teknologi Produksi Pakan Ternak Melalui Biokonversi Ampas Nira Sawit oleh Larva BSF	68		

Pasca Panen / Pengolahan

Desain dan Implementasi Robot Pengumpul Brondolan Buah Sawit Berbasis Mechatronics Dengan Sistem Deteksi dan Klasifikasi Kondisi Buah Berbasis Artificial Intelligence	73	Aplikasi Drone Sebagai Pemotong Pelepah dan Buah Kelapa Sawit	79
Egrek Digital: Inisiatif Substitusi Impor dan Peningkatan Efisiensi Panen Tbs Kelapa Sawit	75	Truk Cerdas Pemuat Tandan Buah Segar Kelapa Sawit	81
Prototipe Gerobak Sorong (Wheel Barrow) Bertenaga Listrik DC untuk Meningkatkan Organomi Dan Produktifitas Sumber Daya Pada Perkebunan Rakyat Kelapa Sawit	77		

Penanganan Limbah / Lingkungan

Pengembangan Membran Skala Bench untuk Nutrient Recovery dan Recycle Air Limbah POME sebagai Air Proses	84	Pengembangan Teknologi Konversi Terintegrasi untuk Pengolahan POME dan Produksi Bahan Bernilai Tambah dengan Biomassa Mikroalga	88
Pembuatan Purwarupa Sistem Penyedia Energi Listrik Terintegrasi (Baterai dan Superkapasitor) dari Limbah Kelapa Sawit	86	Pemanfaatan Asap Cair dari Limbah Biomassa Cangkang Sawit Sebagai Green Inhibitor Pembentukan Material Kerak Anorganik	90

Daftar Isi

Program Penelitian dan Pengembangan Industri Beton Precast Berbasis Foam Concrete Dengan Bahan Substitusi Limbah Biomassa Sawit	92	Life Cycle Assessment Produksi Sustainable Aviation Fuel Berbasis Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil	100
Pengembangan Sistem Real Time Greenhouse Gas Footprints berbasis Internet of Things di Industri Kelapa Sawit Hulu Hilir	94	Cellulose Nitrate Standar Militer Komersil berbasis Biopolymer Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Kemandirian Pertahanan Negara	102
Pengembangan Teknologi Produksi Gula Cair dari Batang Sawit Tua untuk Mendukung Program Peremajaan Sawit Rakyat	96		
Uji Multilokasi Faktor Emisi Lahan Gambut Indonesia Yang Didrainase Untuk Budidaya Kelapa Sawit: Perhitungan Faktor Emisi Berdasarkan Beberapa Metode Pengukuran Emisi Karbon	98		

Sosial / Ekonomi / Manajemen / Pasar / Teknologi Informasi dan Komunikasi

Model Pengembangan Kelembagaan Petani Menuju Hilirisasi Produk Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Petani Kelapa Sawit	105	Pemetaan Mutu CPO Di Sumatera Bagian Utara	111
Pengembangan Sistem Realtime Deteksi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Metode Centernet Berbasis Android	107	Evaluasi Dampak Kehadiran Pabrik Kelapa Sawit Brondolan terhadap Rantai Pasok Industri Kelapa Sawit Berkelanjutan	113
Revitalisasi Agribisnis Sawit: Menghadapi Tantangan Global Dengan Sistem Manajemen Korporasi Petani Digital Yang Berkelanjutan	109		



KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

BIOENERGI

01

STUDI PENGARUH KATALIS ALUMINA DALAM PROSES CATALYTIC CRACKING PADA CRUDE PALM OIL (CPO) DAN REFINED BLEACHED DEODORIZED PALM OIL (RBDPO) UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR BIOGASOLINE

Peneliti: Dr. Eng Hosta Ardhyanta, ST, M.Eng; Dr. Widyastuti, S.Si M.Si; Sigit Triwicaksono, Ph.D; Rindang Fajarin Ssi, Msi; Vania Mitha Pratiwi, ST, MT
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kebutuhan energi terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan aktivitas industri. Energi terbesar diperoleh dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil memiliki kelemahan yaitu ketersediaan yang terbatas dan tak terbarukan sehingga mendorong untuk pengembangan teknologi energi baru untuk mendapatkan sumber energi alternatif yang kontinu, terbarukan dan berkelanjutan. Pohon sawit memiliki kemampuan yang tinggi untuk berbuah. Pohon sawit dapat tumbuh dengan cepat dan mampu berbuah dengan cepat sehingga dapat menghasilkan panen buah sawit dengan tinggi. Buah sawit mampu menghasilkan minyak dalam jumlah besar dan memiliki potensi sebagai sumber minyak yang kontinu, terbarukan dan berkelanjutan. Indonesia memiliki iklim yang baik dan cocok untuk pertumbuhan pohon sawit. Indonesia merupakan salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia. Minyak sawit digunakan sebagai bahan pangan dan industri makanan (edible oil). Studi ini mengembangkan potensi minyak sawit sebagai bahan bakar nabati (biofuel). Minyak mentah sawit (Crude Palm Oil (CPO) dan Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)) diolah menjadi bahan bakar minyak dan bensin biogasoline yang dapat digunakan pada mesin motor bakar.

Tim peneliti menggunakan metode proses catalytic cracking (perengkahan katalis) menggunakan basis katalis material alumina (Al_2O_3), HZSM-5 dan USY untuk mengolah minyak mentah kelapa sawit (CPO dan RBDPO) menjadi bahan bakar minyak. proses catalytic cracking digunakan untuk memecah/memutus rantai panjang (molekul besar) minyak mentah menjadi rantai pendek (molekul kecil) bahan bakar. Senyawa organik besar trigliserida yang terkandung dalam minyak mentah sawit dipecah menjadi material organik hidrokarbon kecil yang memiliki karakteristik setara bensin fosil.

Proses produksi bahan bakar minyak bensin biogasoline dilakukan menggunakan sistem reaktor kontinu. Penelitian ini menghasilkan disain sistem alat produksi dengan kapasitas 10 L dan 20 L. Proses pengolahan terdiri dari proses pretreatment, cracking dan refining. Sistem cracking terdiri dari heating dan kondensasi. Minyak sawit dicampurkan dengan material katalis dan dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur 100°C untuk menurunkan viskositas minyak serta meningkatkan homogenitas campuran. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan hingga temperatur tinggi 300 – 500 °C. Pada kondisi ini terjadi proses catalytic cracking, proses reaksi fasa cair berubah menjadi fasa gas kemudian fasa gas melewati bagian kondensasi dan menghasilkan produk gas serta cair. Hal ini merupakan proses pemutusan rantai karbon panjang yang terdapat dalam trigliserida menjadi molekul hidrokarbon rantai pendek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material alumina dibandingkan HZSM-5 dan USY memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan produksi fraksi biogasoline. Bahan RBDPO menunjukkan hasil produk yang lebih tinggi daripada CPO. Analisis GC-MS menunjukkan adanya peningkatan fraksi rentang karbon C5–C11 setelah penambahan material katalis. Hasil ini membuktikan bahwa material katalis mampu mempercepat dan meningkatkan proses pemutusan rantai karbon panjang sehingga menghasilkan lebih banyak hidrokarbon ringan yang sesuai untuk bahan bakar bensin. Karakterisasi fisik dan kimia produk juga menunjukkan hasil yang menjanjikan. Biogasoline yang dihasilkan memiliki viskositas sebesar 2,29 cSt, densitas 0,818 g/cm³, nilai kalor 10.129 kkal/kg, serta angka oktan atau Research Octane Number (RON) mencapai 115,3. Nilai oktan yang tinggi menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menahan terjadinya knocking pada mesin bensin berkompresi tinggi.

Studi

Pengaruh Katalis Alumina dalam Proses Catalytic Cracking Crude Palm Oil (CPO) & Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) untuk Produksi Bahan Bakar BIOGASOLINE




Latar Belakang

-  Penggunaan bahan bakar fosil (tak terbaharukan) merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca, gas CO₂, NO_x, dan SO₂.
-  Indonesia merupakan salah satu negara terbesar penghasil minyak sawit mencapai 56 juta ton dengan ekspor sekitar **26,33 juta ton**
-  Tandan buah segar (TBS) kelapa sawit biasanya diolah menjadi dua bentuk utama yaitu CPO (Crude Palm Oil) dan RBDPO (Refined Bleached Deodorized Palm Oil)
-  Modifikasi CPO dan RBDPO dengan metode catalytic cracking dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai jual minyak sawit sebagai bahan bakar biogasoline

Metode



Tujuan

Untuk mengoptimalkan proses catalytic cracking melalui pengujian biogasoline berbagai komposisi menggunakan katalis Alumina

Hasil Produk



Implementasi

Penggunaan sebagai bahan bakar alternatif (biofuel), pemanfaatan sumber daya lokal (CPO/RBDPO)

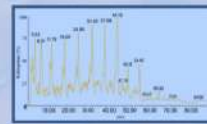
Skema Penelitian



Spesifikasi alat

160cm x 130 cm x 220 cm
Material: Stainless Steel 304L
Kapasitas Pre-Heater 20 L
Skala 8 L
Produksi 4 L
Daya : 2000 watt/ heater

Karakterisasi KC-SM



Tim Peneliti:

1. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si¹
2. Dr. Maria Anityasari, ST., MT²
3. Sigit Triwicaksono, Ph.D¹
4. Vanla Mitha P., ST, MT¹
5. Rindang Fajarin, S.Si, M.Si¹
6. Dr. Triyanda Gunawan, S.Si²
7. Firman Kurniawansyah, ST, MT⁴
8. Dr. Liyana Labiba Zulfa, S.Si, M.Si²
9. Alya Awinatul Rohmah, M.Si²
10. Auliya Arsanti³
11. Dwi Meriyanti³
12. Shafa Tunjung Pandhini³
13. Evan Yudha¹
14. Ararya Pandya Arjana¹
15. Farros Hibban Hidayat, ST¹

- 1 Departemen Teknik Material Metalurgi
- 2 Departemen Teknik Industri
- 3 Departemen Kimia
- 4 Departemen Teknik Kimia



Ketua:
Prof. Dr. Eng Hosta Ardhyanta, ST, M.Eng¹
(+62 813-9837-6767)
hosta.ardhyanta@its.ac.id

Tim Peneliti



02

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI REAKTOR DAN KAJIAN TEKNOEKONOMI DALAM HIDROLISIS MINYAK SAWIT MENJADI ASAM LEMAK DAN GLISEROL MENGGUNAKAN ENZIM AMOBIL PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN RENDAH

Peneliti: Yogi Wibisono Budhi, Akhmaloka, Elvi Restiawaty, Hafis Pratama Rendra Graha
Direktorat Riset Dan Inovasi - Institut Teknologi Bandung

Penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan sistem biokatalis heterogen berbasis lipase rekombinan thermostable (Lipase ITB 1.2) yang diimmobilisasi pada dua matriks penyangga, yaitu nickel foam (Ni foam) dan cellulose nanofiber (CNF). Sistem ini ditujukan untuk mengatalisis hidrolisis trigliserida/minyak sawit menjadi asam lemak, yang berperan sebagai bahan antara penting dalam rantai produksi green diesel.

Latar belakang penelitian berangkat dari kebutuhan proses hidrolisis minyak nabati yang lebih hemat energi, selektif, dan ramah lingkungan dibandingkan proses konvensional seperti Colgate-Emery atau Twitchell, yang umumnya memerlukan suhu tinggi di atas 250 °C dan tekanan sekitar 50 bar. Kondisi operasi ekstrem tersebut berimplikasi pada kebutuhan CAPEX/OPEX yang besar, konsumsi energi tinggi, serta potensi terjadinya reaksi samping terhadap komponen bernilai pada minyak nabati.

Tantangan utama pemanfaatan lipase adalah tingginya biaya enzim, keterbatasan stabilitas operasional, serta kesulitan pemisahan enzim dari medium reaksi. Imobilisasi enzim pada penyangga padat menjadi pendekatan strategis untuk meningkatkan stabilitas, mempermudah pemisahan, dan memungkinkan penggunaan berulang. Namun, desain imobilisasi harus dikendalikan agar tidak menurunkan aktivitas katalitik akibat perubahan konformasi enzim atau hambatan akses substrat menuju situs aktif.

Kebaruan riset ini terletak pada pemanfaatan desain His-tag pada lipase rekombinan untuk membangun interaksi selektif dengan situs nikel, serta pengembangan modifikasi permukaan berbasis NTA-Ni guna meningkatkan afinitas, orientasi, dan mobilitas enzim pada permukaan penyangga.

Pendekatan ini diharapkan menghasilkan biokatalis yang lebih stabil, mudah dipisahkan, dan efektif untuk proses hidrolisis pada kondisi mild sekitar 60 °C dan tekanan atmosferik.

Fokus dan Tujuan Penelitian

Ni Foam : Mengkaji pengaruh elektrodeposisi nikel, spacer arm NTA, dan variasi konsentrasi NiCl_2 terhadap pemuatan enzim, aktivitas, dan stabilitas biokatalis.

CNF : Mempelajari pengaruh laju alir larutan selulosa aasetat pada proses electrospinning terhadap morfologi CNF serta mengevaluasi dampak modifikasi NTA-Ni terhadap yield imobilisasi.

Kinerja proses : Membandingkan aktivitas enzim amobil dan enzim bebas serta mengevaluasi pengaruh pengadukan, suhu, waktu penyimpanan, dan penggunaan berulang terhadap performa hidrolisis minyak sawit.

Manfaat dan Dampak yang Diharapkan

Riset ini diharapkan menghasilkan platform biokatalis baru yang mampu beroperasi pada kondisi mild, menurunkan kebutuhan energi, menyederhanakan proses pemisahan, dan meningkatkan reusability enzim sehingga berpotensi menekan OPEX per ton produk. Luaran yang ditargetkan mencakup publikasi ilmiah pada jurnal dan prosiding, data performa biokatalis, serta dasar pengembangan proses hidrolisis enzimatis yang lebih siap untuk peningkatan skala. Dalam jangka panjang, keberhasilan teknologi ini dapat memperkuat hilirisasi sawit nasional melalui produksi asam lemak bernilai tambah, mendukung pengembangan green diesel domestik, mendorong tumbuhnya industri enzim dan material penyangga lokal, mengurangi ketergantungan pada diesel fosil impor, serta membuka peluang rekayasa reaktor terintensifikasi untuk proses biokatalitik.



PENGEMBANGAN TEKNOLOGI REAKTOR DAN KAJIAN TEKNOEKONOMI DALAM HIDROLISIS MINYAK SAWIT MENJADI ASAM LEMAK DAN GLISEROL MENGGUNAKAN ENZIM AMOBIL PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN RENDAH

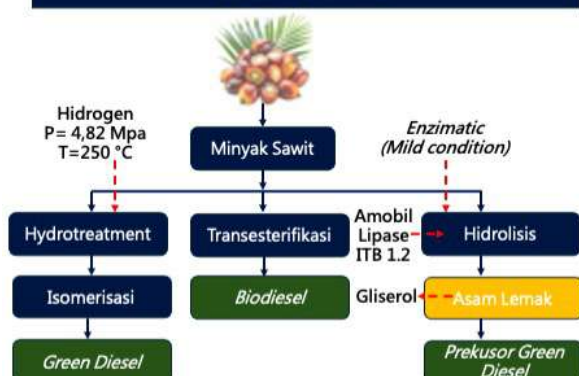
Yogi Wibisono Budhi, Akhmaloka, Elvi Restiawaty, Hafis Pratama Rendra Graha, Ghusrina Prihandini



No. Kontrak : 12B/IT1.B07.1/KP/2024

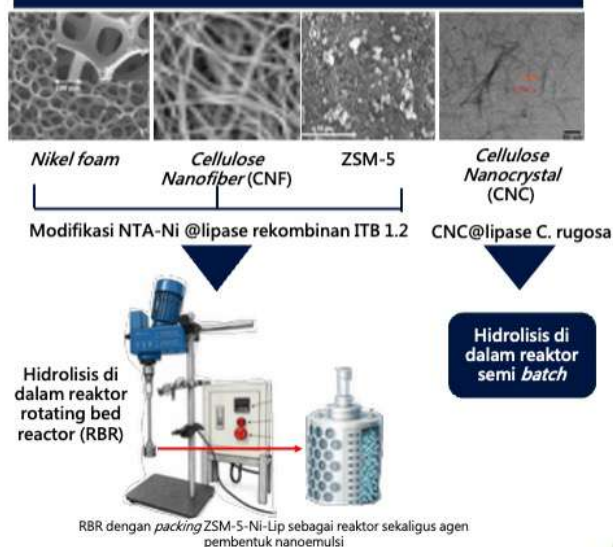
Email : Y.Wibisono@itb.ac.id

PENDAHULUAN



Produksi *green diesel* secara konvensional memerlukan kondisi operasi bertekanan, bertemperatur, dan konsumsi H_2 tinggi. Salah satu alternatif yang menarik adalah melalui proses enzimatis amobil, yaitu dengan mengolah minyak sawit menjadi asam lemak sebagai prekursor *green diesel*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan enzim, penyangga, dan jenis reaktor yang tepat dalam menghidrolisis minyak sawit menjadi asam lemak dan gliserol.

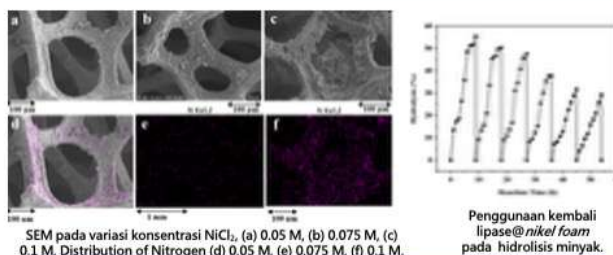
METODOLOGI PENELITIAN



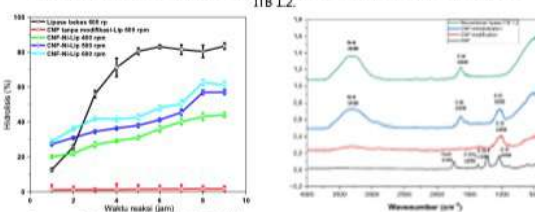
KESIMPULAN

1. Lipase ITB 1.2 yang diimmobilisasikan ke dalam matriks (97,45% yield) sukses diaplikasikan dalam hidrolisis minyak sawit dengan penggunaan kembali tertinggi sebanyak 6 kali.
2. Sintesis CNF berhasil dilakukan untuk matriks CNF-Ni-Lip dengan perolehan hidrolisis sebesar 63% dengan 3 kali penggunaan berulang.
3. Sinergi antara nanoemulsi minyak-air pada hidrolisis minyak sawit menggunakan ZSM-5-Ni-Lip dalam RBR mampu menaikkan perolehan hidrolisis sebesar 88%.
4. Sintesis CNC dan immobilisasi lipase dari *C. rugosa* ke dalamnya sukses dilakukan sebagai biokatalis dalam hidrolisis minyak sawit dengan 5 kali penggunaan berulang.

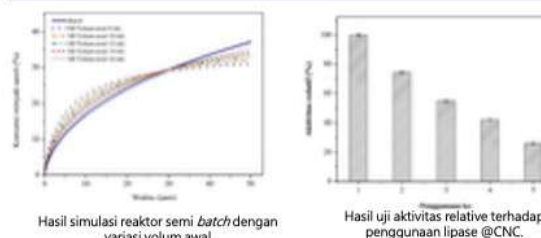
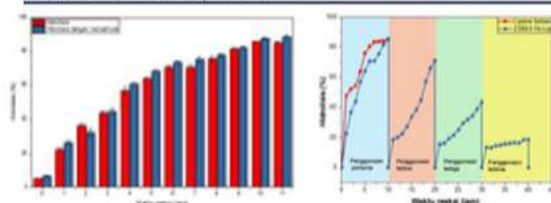
HASIL



AFM pada permukaan CNF (a) sebelum immobilisasi dan (b) setelah immobilisasi lipase ITB 1.2.



Spektra FTIR-ATR pada CNF.



03

PENGEMBANGAN METODE PRODUKSI ENZIM SELULASE UNTUK MENDUKUNG PRODUKSI BIOETANOL GENERASI KEDUA

Peneliti: Prof. Dr. Ronny Purwadi, Prof. Dr. Made Tri Ari Penia Kresnowati, Dr. Vita Wonoputri
Direktorat Riset Dan Inovasi - Institut Teknologi Bandung

Latar Belakang

Produksi bioetanol generasi kedua dari biomassa lignoselulosa memerlukan enzim selulase dalam tahap hidrolisis. Namun, biaya enzim selulase komersial dapat mencapai 40% dari total biaya produksi bioetanol, menjadikannya kendala utama pengembangan industri. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode produksi enzim selulase secara mandiri menggunakan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai substrat utama.

Metodologi

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium menggunakan substrat TKKS terolah (steam-explosion dengan NaOH 5%) yang memiliki kandungan selulosa 67%. Variabel yang dieksplorasi meliputi rasio solid-to-liquid (S/L), metode fermentasi (padat, semi-padat, terendam, sekuensial), jenis mikroorganisme (*A. niger*, *T. reesei*, *T. viride*, *P. chrysogenum*, *R. oryzae*), strategi penambahan/penggantian media, serta uji skala bangku menggunakan bioreaktor horizontal dengan umpan 100 gram TKKS. Aktivitas enzim diukur dengan metode filter paper assay (FPU), sedangkan karakterisasi protein dilakukan dengan uji Bradford dan SDS-PAGE.

Hasil dan Temuan Utama

Rasio S/L: Fermentasi dengan rasio S/L 1:20 menghasilkan aktivitas enzim tertinggi (0,172 FPU/mL pada hari ke-12), jauh melampaui rasio 1:10 (0,084 FPU/mL) dan 1:2 (0,065 FPU/mL). Cairan berlebih menekan represi katabolit sehingga jamur menghasilkan enzim lebih lama.

Pemilihan Mikroorganisme

Dalam fermentasi monokultur, *A. niger* unggul dengan aktivitas tertinggi (0,207 FPU/mL fasa cair, hari ke-9), diikuti *T. viride* dan *T. reesei*.

P. chrysogenum dan *R. oryzae* menunjukkan aktivitas lebih rendah. Kultur campuran *A. niger* dan *T. reesei* (2:1) terbukti menghasilkan aktivitas lebih tinggi dibandingkan monokultur, mengindikasikan adanya sinergisme antar-spesies.

Penggantian Media Periodik

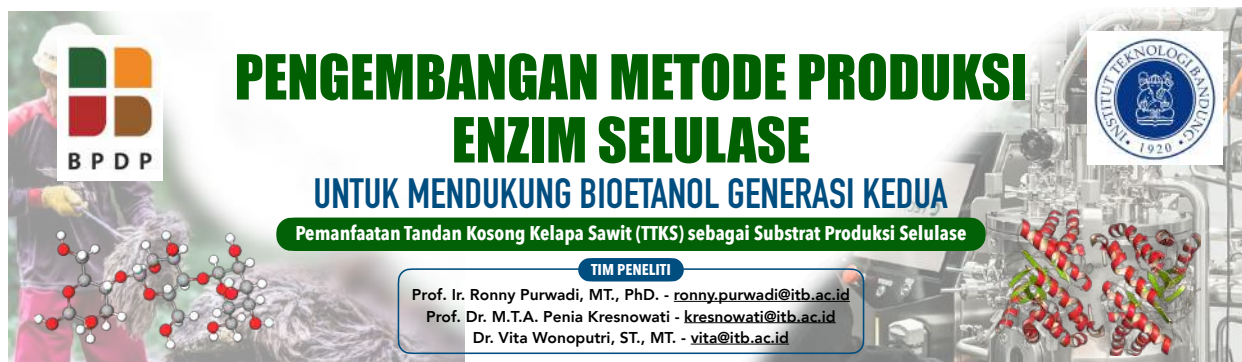
Pemanenan cairan fermentasi dan penggantian dengan media segar terbukti meningkatkan produksi enzim lebih dari 5 kali lipat (dari 0,01 menjadi 0,056 FPU/mL), sekaligus memungkinkan pemanfaatan ulang biomassa jamur tanpa perlu menumbuhkan inokulum baru. Fermentasi Sekuensial: Perubahan mode operasi antara fermentasi padat dan terendam tidak memberikan keuntungan signifikan dibandingkan sistem S/L 1:20 yang konsisten.

Skala Bangku (Bioreaktor Horizontal)

Fermentasi berhasil dilakukan pada kapasitas 100 gram TKKS. Aktivitas enzim tertinggi dicapai lebih cepat (hari ke-5), namun nilainya masih lebih rendah dari skala laboratorium (<0,05 FPU/mL), menandakan perlunya optimasi parameter rasio S/L, jadwal pengadukan, dan jumlah inokulum pada skala ini.

Kesimpulan

Sistem produksi enzim selulase berbasis TKKS berhasil dikembangkan menggunakan kultur campuran *A. niger* dan *T. reesei*. Faktor kritis keberhasilan adalah rasio S/L yang tinggi, penggantian media secara periodik, dan sinergi antar-mikroorganisme. Hasil ini menjadi fondasi penting untuk pengembangan lebih lanjut menuju skala pilot dan industri guna mendukung kemandirian produksi bioetanol generasi kedua di Indonesia.



1 LATAR BELAKANG



Bioetanol Generasi Kedua (2G Ethanol) memanfaatkan biomassa lignoselulosa dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan



Salah satu kendala terbesar adalah **tingginya biaya enzim selulase**, yang dapat mencapai sekitar **40%** biaya produksi etanol.



Indonesia menghasilkan jutaan ton **Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)** setiap tahun yang kaya akan selulosa dan berpotensi menjadi substrat murah untuk produksi enzim



Produksi selulase lokal diharapkan dapat:

- Menurunkan biaya hidrolisis biomassa
- Mengurangi ketergantungan impor enzim
- Mendukung industri bioetanol nasional



Komposisi Kimia TKKS (rata-rata)

38 - 45% Selulosa
20 - 30% Hemiselulosa
20 - 25% Lignin
5 - 10% Lain-lain (ekstraktif, abu dls)

2 TUJUAN PENELITIAN

TUJUAN UMUM

Mengembangkan metode produksi enzim selulase berbasis TKKS untuk mendukung produksi bioetanol generasi kedua.

TUJUAN KHUSUS



Menentukan kondisi fermentasi terbaik



Membandingkan berbagai jenis jamur penghasil selulase



Mengembangkan sistem fermentasi semi-padat



Menguji kultur tunggal dan kultur campuran



Melakukan *scale-up* ke bioreaktor skala bangku

3 METODOLOGI

BAHAN BAKU

Tandan Kosong Kelapa Sawit



MIKROORGANISME



Aspergillus niger



Trichoderma reesei



Trichoderma viride



Penicillium chrysogenum



Rhizopus oryzae



VARIABLE PROSES



Rasio S/L
1:2, 1:10, 1:20



Jenis Kultur
Tunggal & Campuran



Lama Fermentasi
3 - 15 hari



Strategi Operasi
Semi padat & Sequensial



Skala
Erlenmeyer → bioreaktor

TAHAPAN PENELITIAN



TKKS



Persiapan Media



Fermentasi
(SSF / Semi Padat / SMF / Sekuensial)



Ekstraksi Enzim



Analisa Aktivitas Selulase
(Filter Paper Assay)



Scale-up Bioreaktor

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGARUH RASIO S/L

Rasio 1:20 menghasilkan aktivitas selulase tertinggi.

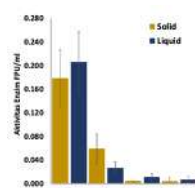
**S/L
1:20
TERBAIK**

Alasan:

- ✓ Nutrisi lebih merata
- ✓ Transfer massa lebih baik
- ✓ Pertumbuhan jamur lebih optimal

B. PERFORMA BERBAGAI JAMUR

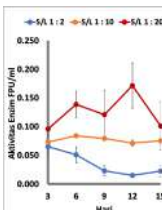
Aktivitas selulase maksimum pada fermentasi semi padat (FPU/mL).



A. niger memberikan aktivitas tertinggi (0.054 FTU/mL) karena memiliki aktivitas β -glukosidase yang kuat sehingga meningkatkan konversi selulosa menjadi glukosa.

C. FERMENTASI SEMI-PADAT

Jumlah cairan memengaruhi produksi enzim selulase.

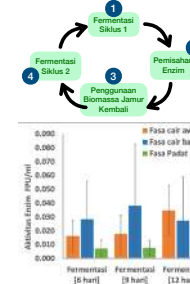


Peningkatan jumlah cairan mengakibatkan:

- Transport nutrisi & enzim lebih mudah
- Menurunkan aktivitas enzim karena pengenceran

D. FERMENTASI SEKUENSIAL

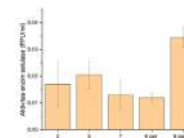
Biomassa jamur digunakan kembali pada siklus berikutnya.



- Pemanfaatan biomassa
- Berkelanjutan
- Peningkatan produktivitas

E. SCALE-UP BIOREAKTOR

Uji bioreaktor horizontal kapasitas 100 gr TKKS/batch.



Hasil:

Metode berhasil diterapkan pada skala yang lebih besar dan memberikan aktivitas selulase yang konsisten.

3 KESIMPULAN



TKKS terbukti efektif sebagai substrat produksi selulase.



Fermentasi semi-padat memberikan performa lebih baik dibandingkan beberapa metode konvensional



Rasio S/L 1:20 merupakan kondisi terbaik



Kultur campuran meningkatkan produksi enzim melalui efek sinergi



Sistem berhasil diuji hingga skala bioreaktor 100 gr TKKS/batch

DAMPAK PENELITIAN



Pemanfaatan limbah sawit bernilai tambah



Produksi enzim selulase lokal



Penurunan biaya bioetanol generasi kedua



Mendukung kemandirian energi Indonesia



"DARI LIMBAH SAWIT MENJADI ENZIM STRATEGIS UNTUK BIOETANOL GENERASI KEDUA"



04

PENGEMBANGAN DISTILASI DAN EKSTRAKSI FURFURAL BERBASIS HIDROLISIS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA SKALA PILOT

Peneliti: Prof. Dr. Ing. Misri Gozan, M. Tech., IPU. dan tim peneliti

1. Capaian Hasil Skala Laboratorium & Validasi Produk

Penelitian ini berhasil mengembangkan rute baru produksi furfural ramah lingkungan berbasis asam format sebagai pelarut sekaligus katalis, yang menggantikan rute asam sulfat untuk menekan korosi dan limbah. Proses meliputi praperlakuan (85 °C, 4 jam) untuk fraksinasi lignoselulosa, hidrolisis hemiselulosa (120 °C, 2,5 jam), serta dehidrasi xilosa (170 °C, 40 menit).

- Kemurnian Tinggi: Kombinasi ekstraksi cair-cair dan distilasi bertingkat 3 kolom di laboratorium secara konsisten menghasilkan produk furfural dengan tingkat kemurnian 98,1% – 98,5%. Hasil ini memenuhi spesifikasi mutu furfural grade industri.
- Bukti Validasi: Analisis GC-MS memperlihatkan hanya satu puncak dominan (retention time 10,2–10,3 menit) dengan kandungan senyawa pengotor di bawah ambang batas 1%. Sifat fisik produk terbukti konsisten (tidak berwarna, aroma almond khas, titik didih 161 °C).
- Luaran Hasil: Target luaran telah dicapai secara lengkap, meliputi publikasi ilmiah terbit di South African Journal of Chemical Engineering (Q1/Elsevier), publikasi prosiding internasional AIP, serta pendaftaran paten sistem bifasa DES/MIBK di DJKI (No. P00202314033, status Pelayanan Teknis).

2. Capaian Hasil Simulasi & Kesiapan Skala Pilot

- Kinerja Teoritis (SuperPro Designer): Pemodelan termodinamika NRTL membuktikan efisiensi proses dengan nilai akumulasi pemulihan (recovery) furfural mencapai ~95% dan tingkat daur ulang pelarut (solvent recycle) >90% sehingga meminimalkan biaya OPEX.
- Skalabilitas Kapasitas: Unit dirancang dengan kapasitas umpan 50 kg TKKS per batch, dengan siklus produksi 6–8 jam. Berdasarkan trial run, yield furfural skala pilot berada pada kisaran 4–6% dan mampu menghasilkan ±2–3 kg furfural high-purity per batch.

- Status Fisik Lapangan: Unit reaktor hidrolisis skala pilot berada pada status TRL 7 (telah selesai dan teruji). Namun, integrasi fisik unit purifikasi terhambat pada status TRL 5–6 karena keterlambatan logistik dan administrasi bea masuk untuk komponen impor glass-lined equipment yang tahan terhadap asam format pada suhu tinggi. Jalur pipa stainless steel dan seluruh instrumentasi kontrol saat ini sudah siap di lokasi (onsite) dan menunggu kedatangan alat utama. PT Zekindo selaku mitra mengestimasi waktu instalasi dan komisioning akhir selama 6–8 minggu setelah komponen lengkap.

3. Hasil Analisis Keekonomian Pre-Commercial

Studi kelayakan teknis-ekonomis (Techno-Economic Assessment) disimulasikan menggunakan basis kapasitas 10 ton TKKS/batch (setara 1.437 batch/tahun atau 14.370 ton TKKS/tahun):

- Struktur Biaya: Fasilitas ini membutuhkan estimasi investasi awal (CAPEX) sebesar Rp40 miliar dan biaya operasional tahunan (OPEX) sebesar Rp6,66 miliar.
- Analisis Sensitivitas Harga: Pada harga jual pasar USD 2.0/kg furfural, pabrik mengalami kerugian dengan gross margin sebesar -0,19%. Tingkat harga keekonomian yang optimal adalah USD 3,5/kg yang menghasilkan nilai Net Profit Rp 0,94 miliar/tahun, Internal Rate of Return (IRR) sebesar 17,64%, dan Payback Period (PBP) selama 5,28 tahun. Profitabilitas proyek berpotensi meningkat secara signifikan (IRR > 20%, PBP < 3 tahun) apabila produk samping bernilai jual, seperti asam format sisa, lignin, dan asam levulinat, dimonetisasi secara terpadu.



UNIVERSITAS
INDONESIA

Yenius, Pradisa, Indira
EST. 1847

PENGEMBANGAN DISTILASI DAN EKSTRAKSI FURFURAL BERBASIS HIDROLISIS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA SKALA PILOT

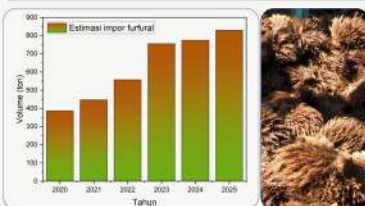
Misri Gozan, Dianursanti, Tania Surya Utami, Muryanto, Ilyin Abdi Budianta

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

"From palm waste to high-purity furfural for sustainable chemical industry"

1. LATAR BELAKANG

PERMASALAHAN NASIONAL



GAP TEKNOLOGI

- ✗ Pilot plant eksisting hanya menghasilkan crude furfural (<5%)
- ✗ Belum tersedia unit purifikasi terintegrasi
- ✗ Belum mencapai standar industri (>98%)

2. TUJUAN PENELITIAN

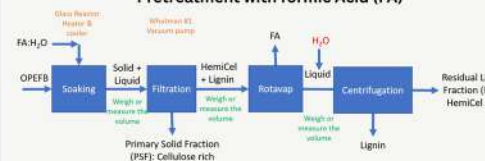
- Mengembangkan unit purifikasi furfural skala pilot melalui kombinasi ekstraksi cair-cair dan distilasi bertingkat.
- Meningkatkan kemurnian produk furfural dari <5% (crude) menjadi ≥98% (grade industri).
- Memvalidasi integrasi proses hidrolisis-ekstraksi-distilasi pada pilot plant.
- Melakukan simulasi proses, analisis keekonomian, serta validasi operasional menuju skala pra-komersial.

NOVELTY

- Integrasi langsung reaktor-purifikasi (piping tie-in) mencegah degradasi furfural akibat holding time.
- Sistem ekstraksi bifasa DES/MIBK ramah lingkungan.
- Pemurnian berbasis 3 kolom distilasi untuk memecah azeotrop furfural-air.
- Mengurangi isu korosi dengan penggunaan asam format dibanding H₂SO₄.
- Teknologi berkelanjutan, memanfaatkan limbah TKKS menjadi bahan kimia bernilai tinggi.

3. METODOLOGI

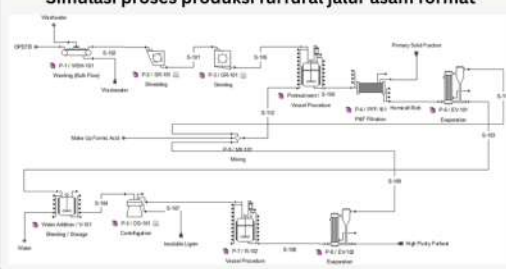
Pretreatment with formic Acid (FA)



Hydrolysis & Dehydration



Simulasi proses produksi furfural jalur asam format



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

KEMURNIAN FURFURAL MENCAPAI 98,5% RECOVERY KUMULATIF ~95%

RAW MATERIAL TKKS



CRUDE & FURFURAL TAHAP 1



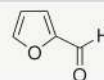
Hasil validasi product

Sampel	Asal Produk	Kemurnian GC-MS (%)	Warna	Kesimpulan
Crude product	Outlet reaktor hidrolisis	3,7 – 4,8%	Coklat gelap	Tidak memenuhi spesifikasi
Produk purifikasi tahap 1	Distilasi 1	48–50%	Kuning kecoklatan	Spesifikasi menengah
Produk purifikasi tahap 2	Distilasi 2 + Ekstraksi	85–92%	Kuning terang	Hampir memenuhi spesifikasi
Produk purifikasi tahap 3	Distilasi berurutan (3 kolom)	98,1 – 98,5%	Tidak berwarna	Memenuhi spesifikasi industri

KARAKTERISTIK FISIK PRODUK AKHIR

Titik Didih
161°C

Kenampakan
Tidak Berwarna

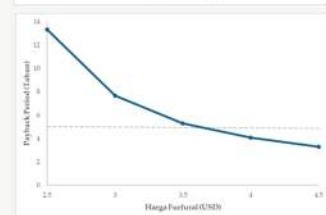
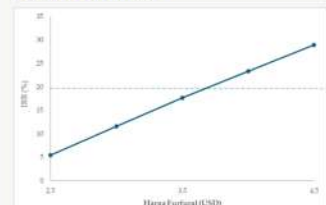


PERFORMA PILOT PLANT

- Kapasitas Feed
50kg TKKS/batch
- Output Furfural
2-3 kg High Purity/batch
- Siklus Produksi
6-8 jam/batch
- Kesiapan teknis
TRL 7-8 pilot integrated demonstrator



ANALISIS EKONOMI



5. KESIMPULAN

- ✓ Recovery furfural kumulatif mencapai ~95% dengan efisiensi pelarut recycle >90%.
- ✓ Pilot plant kapasitas 50kg TKKS/batch menghasilkan 2-3kg furfural high purity per batch.
- ✓ Teknologi berada pada TRL 7-8 dan siap ditingkatkan ke skala pra-komersial.

6. DAMPAK & HILIRISASI

- Ekonomi** (Skala 10 Ton TKKS/hari)
CAPEX : Rp. 40 Miliar
OPEX : Rp. 6,66 Miliar/tahun
Laba Bersih : Rp. 0,94 Miliar/tahun
Payback Period : 4-5 Tahun

- SUBSTITUSI IMPOR NASIONAL**
Berpotensi menghemat devisa negara
> 2 TRILIUN/TAHUN
jika 100% kebutuhan domestik terpenuhi melalui hilirisasi sawit.

- DAMPAK LINGKUNGAN**
Memanfaatkan limbah perkebunan sawit (TKKS)
• Mereduksi emisi CO₂ dari limbah sebesar 20-40%.
- Mendukung regulasi EUDR dan dekarbonisasi nasional

7. CAPAIAN DAN LUARAN

PATEN TERDAFTAR

- Proses untuk Memproduksi Furfural dari Xylan dengan Menggunakan Sistem Bifasa DES/MIBK (No. Permohonan: P00202314033)

PUBLIKASI JURNAL TERBIT

- "Furfural purification and production from prospective agricultural waste of oil palm empty fruit bunch: Simulation, design, and economic assesment" South African Journal of Chemical Engineering (Q1 Elsevier, 2024)

MITRA INDUSTRI

- PT Zeus Kimiatama Indonesia (Zekindo)

DAFTAR PUSTAKA



ALAMAT & KONTAK PENELITI

- Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Email: mgozan@ui.ac.id

05

INOVASI LANJUT KATALIS & TEKNOLOGI BENSA SAWIT DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI PERCONTOHAN MIXED INDUSTRIAL VEGETABLE OIL (MIVO) DAN MINYAK MAKAN SEHAT DARI KELAPA SAWIT

Peneliti: Dr. Ir. C.B. Rasrendra, ST, MT dan tim peneliti

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi CPO mencapai 46,88 juta ton pada 2021 yang menjadikan industri sawit menjadi industri yang sangat strategis untuk dikembangkan. Upaya untuk mengembangkan industri sawit dapat disinergikan dengan upaya perwujudan kedaulatan energi di Indonesia. Riset ini bertujuan untuk mengembangkan pabrik percontohan pengolahan Tandan Buah Sawit (TBS) menjadi minyak makan sehat berkapasitas 5 ton TBS/jam. Sekaligus mengoptimalkan reaktor produksi bensin sawit (bensa) berkapasitas 1.000 liter/hari menggunakan bahan baku dari produk samping pabrik percontohan yang telah disebutkan sebelumnya. Pengembangan pabrik kelapa sawit dan kilang bensin pada skala kecil ini dilakukan dengan harapan agar pabrik-pabrik tersebut dapat langsung diintegrasikan dengan kebun sawit rakyat.

Optimasi reaktor bensin dikembangkan secara evolusioner dari Generasi 0 hingga Generasi 4 untuk mengatasi kendala perpindahan panas dan deaktivasi katalis. Optimasi reaktor ini menghasilkan suatu reaktor bensin multitubular berdiameter 1-2 inci yang dapat beroperasi secara kontinu dan fleksibel sehingga dapat mengolah berbagai umpan dari produk turunan kelapa sawit. Keekonomian reaktor juga ditingkatkan dengan memanfaatkan gas buang serta residu cair hasil reaksi sebagai bahan bakar pemanas. Pengembangan pabrik pengolahan TBS skala kecil dilakukan dengan terobosan teknologi pembangkit listrik berbasis mesin uap (steam engine), serta proses pelunasan brondolan sawit dengan metode perebusan serta remediasi Asam Lemak Bebas (ALB). Pabrik percontohan akan menghasilkan minyak makan sehat yang kaya beta karoten sebagai produk komersial dan Mixed Industrial Vegetable Oil (MIVO) yang dapat digunakan sebagai umpan kilang bensin.

Pengujian menunjukkan bahwa reaktor bensin mampu mengolah CPO, MIVO, maupun PFAD menjadi bensin. Reaktor mampu beroperasi stabil pada temperatur target 500°C dengan perolehan produk cair sekitar 40-45% serta menghasilkan nilai Research Octane Number (RON) unggul berkisar 110-115 serta produk gas yang memiliki nilai kalor hingga sekitar 5000 MJ/hari. Sedangkan pabrik pengolahan TBS mampu menghasilkan 23% CPO kering berdasarkan standar SNI 2901:2021 dari TBS. Kemudian dari CPO tersebut dapat dihasilkan 57% minyak makan sehat sesuai spesifikasi SNI 9098:2022 dan 38% MIVO sesuai SNI 8875:2020.

Penelitian ini mampu menunjukkan bahwa konsep pabrik kelapa sawit dan kilang bensin yang dapat langsung terintegrasi dengan kebun sawit rakyat dapat terealisasi. Karena produk bensin yang dihasilkan diproduksi dari produk samping pabrik minyak makan, pabrik ini dapat meningkatkan ketahanan energi Indonesia tanpa mengurangi ketahanan pangan. Penggunaan teknologi dan katalis dalam negeri menunjukkan bahwa Indonesia mampu untuk mengembangkan teknologi proses secara mandiri dan bersaing di kancah internasional.

Inovasi Lanjut Katalis & Teknologi Bensin Sawit dan Pengembangan Teknologi Produksi Percontohan Mix Industrial Vegetable Oil (MIVO) dan Minyak Makan Sehat Teknologi Proses Merah Putih

Dr. CB Rasrendra, Prof. Subagjo, Prof. Melia Laniwati G., Prof. IGBN Makertihartha, Prof. Ronny Purwadi, Dr. Jenny Rizkiana, Dr. Grandprix T.M. Kadja, Dr. Daniel Pramudita, Dr. Haryo P.W., Fadhli M.T.
Fakultas Teknologi Industri - Pusat Rekayasa Katalisis ITB

Skenario Komunal dengan Kebun Rakyat



BENSA dikembangkan secara paralel dengan PKS Mini dengan skenario utama memanfaatkan skema komunal. Skema ini dikembangkan agar dapat memberikan nilai tambah bagi petani sawit rakyat.

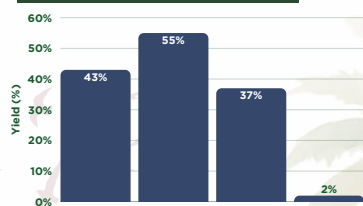
BENSA (Bensin Sawit)

Bensin sawit merupakan bahan bakar hidrokarbon hasil konversi minyak sawit melalui proses **termal katalitik** yang memiliki karakteristik serupa dengan bensin konvensional.

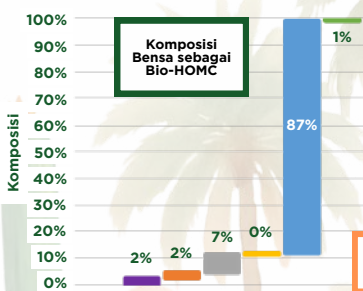
Minyak Makan (MiMa)

Minyak makan (MiMa) merupakan minyak sawit yang diproses dengan mempertahankan kandungan karotenoid dan vitamin E.

Kemampuan Teknis BENSA



Produk Cair (*Organic Liquid Product*) diperoleh senilai 43%. Produk samping didominasi oleh **off-gas** sebesar 55%. Produk gas ini memiliki komposisi yang mendukung sebagai bahan bakar gas. Pemanfaatan **off-gas** ini dilakukan untuk mengurangi biaya produksi.



RON = 113,3

Komposisi BENSA tersusun dari berbagai senyawa hidrokarbon dengan nilai RON mencapai 113,3. BENSA berpotensi dikategorikan sebagai **Bio-HOMC** dan dapat digunakan untuk meningkatkan mutu bensin beroktan rendah, seperti nafta dengan RON 70-an, sehingga dapat diformulasikan menjadi bensin dengan RON lebih tinggi.

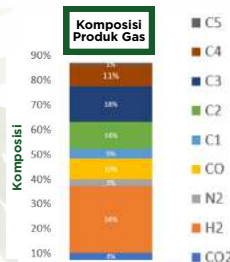


Pengolahan MiMa

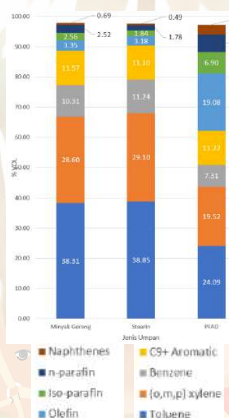


Pilot plant pengolahan Minyak Makan (MiMa). Tandan buah segar (TBS) dari kebun sawit diolah pada *Palm Oil Mill* menjadi CPO. Minyak mentah kemudian dimurnikan pada *Palm Oil Plant* dan difraksionasi. Fraksi *Mixed Industrial Vegetable Oil* (MIVO) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku BENSA (Bensin Sawit), sedangkan fraksi lainnya menjalani proses remediasi asam lemak bebas untuk menghasilkan minyak makan merah (minyak goreng).

Milestone of National Catalyst Innovation



LHV off-gas = 5153 MJ/hari



Reaktor BENSA menunjukkan fleksibilitas tinggi yang mampu memproses berbagai umpan minyak nabati dengan kualitas produk yang tetap terjaga.

06

OPTIMALISASI PENGGUNAAN PALM ACID OIL (PAO) SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL UNTUK INDUSTRI SAWIT DI INDONESIA

Peneliti: Nova Rachmadona, Iman Rahayu, Irwan Kurnia, Ari Hardianto, Haryono, Witta Kartika Restu, Ahmad Zikri, Dewa Ayu Shintya Laura Arista Dewi, Alissa Fernanda, Rosaida Anesia Sitinjak, Adli Aria Hylmi

Latar Belakang

Indonesia menghadapi tekanan ganda, yaitu: ketergantungan pada bahan bakar fosil dan timbunan limbah cair industri sawit yang belum dimanfaatkan. Kebijakan mandatori biodiesel B40 menuntut bahan baku alternatif yang tidak bersaing dengan pangan. High Acid Palm Oil Residue (HAPOR) merupakan residu cair dari limbah pabrik kelapa sawit (POME) dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) 20–70%, menjawab tantangan ini. Penelitian membuktikan bahwa HAPOR bukan sekadar limbah, melainkan bahan baku biodiesel bernilai tinggi yang mendukung bioekonomi sirkular Indonesia.

Inovasi Proses

Katalis konvensional tidak efektif untuk HAPOR karena memicu reaksi saponifikasi yang merusak produk. Solusinya adalah transesterifikasi enzimatis menggunakan lipase, yaitu biokatalis ramah lingkungan yang toleran terhadap kadar FFA tinggi dan terbukti menghasilkan yield hingga 97,4% pada skala laboratorium. Penelitian menggunakan pendekatan Response Surface Methodology (RSM) untuk mengoptimalkan kondisi proses, dilanjutkan dengan validasi skala bertahap hingga reaktor 120 liter.

Capaian Utama

Pada produksi skala 100 mL, optimasi RSM menghasilkan kondisi optimum pada rasio HAPOR:metanol 1:5, kadar air 10%, dan suhu 40°C, yang memberikan yield biodiesel sebesar 81%, dengan angka asam $14,82 \pm 1,13$ mg KOH/g pada penggunaan enzim 1% dan $18,64 \pm 2,40$ mg KOH/g pada enzim 0,5%. Ketika proses ditingkatkan ke skala 5 L, konversi FAME yang diperoleh tetap tinggi (di atas 90%, konsisten dengan literatur) dengan kejernihan visual produk yang baik serta reproduktifitas yang konsisten antarbatch.

Pada scale-up ke reaktor 120 L, angka asam biodiesel berhasil diturunkan secara signifikan dari 192,01 menjadi 23,62 mg KOH/g dalam 24 jam reaksi. Warna biodiesel yang awalnya gelap kemudian diperbaiki melalui treatment bentonit (rasio aktivasi 1:2, dosis 30%, suhu 90°C, 1 jam), yang menurunkan warna hingga di bawah nilai 3 sesuai Kepdirjen EBTKE. Post-treatment dengan CaO menurunkan angka asam akhir dari kisaran 6–9 mg KOH/g menjadi 0,1–0,3 mg KOH/g, memenuhi ambang standar maksimal 0,4 mg KOH/g. Karakterisasi produk akhir menunjukkan densitas 873 kg/m^3 , viskositas 5,64 cSt, angka setana 54, kadar metil ester 98%, gliserol bebas 0,01%, dan gliserol total 0,14%, yang seluruhnya memenuhi standar EBTKE 2022.

Kelayakan Ekonomi

Dengan kapasitas 33.000 L/tahun dan harga jual Rp13.921/L, proses ini layak secara finansial dengan skenario HAPOR gratis dengan ROI 7,57%. Skenario ini sekaligus membuka peluang kemitraan strategis dengan industri sawit, di mana HAPOR yang semula menjadi beban biaya dapat dialihkan sebagai kontribusi bahan baku dalam skema kolaborasi.

Dampak dan Peluang Kolaborasi

Penelitian ini telah menghasilkan publikasi internasional terindeks Scopus, menjalin kolaborasi riset lipase lokal bersama ITB dan INACC BRIN, serta menjajaki hilirisasi dengan PT Agrical dan PT Santomo Biomass Indonesia. Terbuka luas kesempatan kolaborasi bagi industri sawit, perusahaan energi, perguruan tinggi, maupun investor yang ingin bersama-sama mendorong komersialisasi biodiesel berbasis limbah sawit sebagai solusi nyata kemandirian energi Indonesia.



OPTIMALISASI PENGGUNAAN HIGH ACID PALM OIL RESIDUE (HAPOR)

SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL UNTUK INDUSTRI SAWIT DI INDONESIA

Nova Rachmadona¹, Iman Rahayu², Irwan Kurnia², Ari Hardianto², Haryono², Witta K. Restu³, Ahmad Zikri⁴

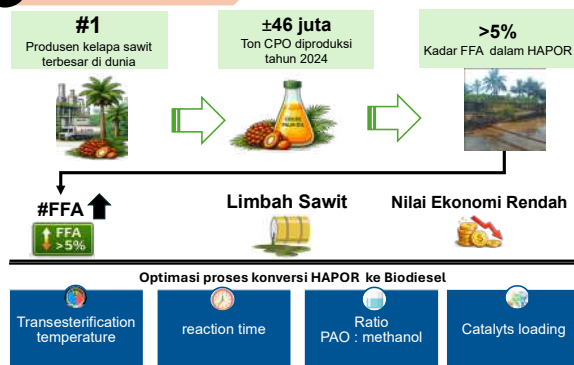
¹ Department of Applied Sciences, School of Vocational Studies, Universitas Padjadjaran, Sumedang, West Java 45363

² Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran, Sumedang, West Java 45363, Indonesia

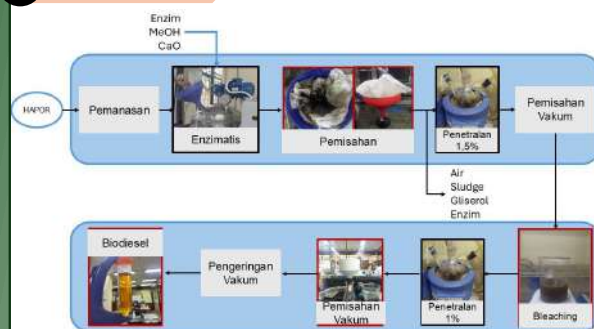
³ Research Center for Chemistry, National Research and Innovation Agency (BRIN), Kawasan PUSPIPTK Serpong, Tangerang Selatan 15314, Indonesia

⁴ Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang 30139 Indonesia

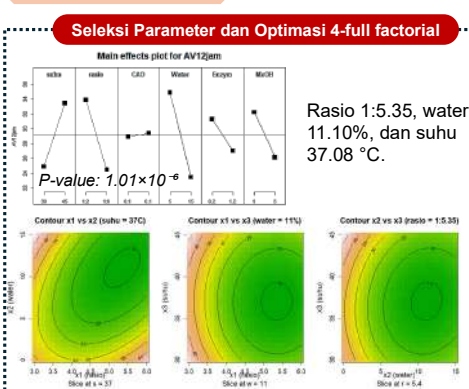
1 LATAR BELAKANG



2 METODE

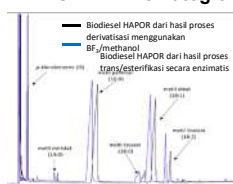


3 HASIL PENELITIAN



Karakterisasi Biodiesel

GC-FID kromatogram



FT-IR Profil



Kualitas Biodiesel

Parameter	Unit	Biodiesel from HAPOR	Kepdijin EBTKE No. 195/2022
Density (40°C)	kg/m ³	879.5	850-890
Viscosity (40°C)	cSt	5.54	2.3-6.0
Cetane number	Min	54	51
Free Glycerol	%w, maks	0.01	0.02
Total Glycerol	%w, maks	0.14	0.24
FAME	%w, min	97.39	96.5
Iodine number	g-I ₂ /100 g, maks	51	115
Acid value	mg-KOH/g, maks	0.3	0.4
Monoglyceride	%w, maks	0.062	0.025
Water Content	ppm, maks	350	340
Color		7	3
Cetane number		61.6	min 61
Flash point	°C	166	min 130
Cooper strip corrosion	3 h at 50 °C	1a	No. 1
Pour point	°C	12	

Analisis Ekonomi

HAPOR berbayar
Profit before tax dan profit after tax bernilai negatif sebesar **Rp -301,093,328.04** per tahun. Nilai ROI sebesar **-2.01%**

HAPOR gratis
Profit before tax dan profit after tax diperoleh sebesar **Rp 11,361,671.96** per tahun. Nilai Return on Investment (ROI) sebesar **7.57%**

Reaktor 5 L



Konversi FAME 5 L Batch

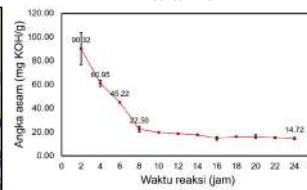


Produksi Scaling Up

Reaktor 120 L



Penurunan Angka asam Reaktor 120 L



4 KESIMPULAN

- ✓ Kondisi optimum rasio **1:5.35**, **water 11.10%**, dan **suhu 37.08 °C**.
- ✓ **HAPOR** sebagai bahan baku dapat dikonversi menjadi biodiesel berkualitas baik melalui proses enzimatik dengan penetrasi, menghasilkan angka asam **0,3 mg KOH/g** sesuai standar.
- ✓ Penggunaan lipase lokal masih perlu dioptimasi karena konversinya relatif rendah, namun memiliki potensi besar untuk menggantikan lipase komersial yang digunakan saat ini sehingga menurunkan biaya jangka panjang.
- ✓ Perlu pengembangan dan optimasi pada hilir dan scaling up proses

Contact us:
n.rachmadona@unpad.ac.id

DOKUMENTASI



PROSES PENELITIAN — KUNJUNGAN INDUSTRI

07

PENINGKATAN NILAI TAMBAH GLISEROL MELALUI REAKSI DEHIDRASI OKSIDASI MENJADI ASAM AKRILAT

Peneliti: Iman Abdullah, Fatimah Tresna Pratiwi, Yuni Krisyuningsih Krisnandi, Rahmat Wibowo, Maharani Dewi Solikhah, Khairil Amri, Palupi Tri Widiyanti, Ade Pamungkas, Bertha Verdina, Jasmine Arminta, Rayhan Sumardi

Gliserol merupakan produk samping industri oleokimia dengan kelimpahan yang tinggi. Pangsa pasar yang kecil menyebabkan harga gliserol sangat murah dipasaran bahkan sering hanya dianggap sebagai limbah produksi. Menurut data BPS (Badan Pusat Statistik) selama 5 tahun terakhir gliserol yang dihasilkan di Indonesia sangat berlimpah, dengan jumlah ekspor yang terus meningkat secara signifikan. Pada tahun 2023 jumlah ekspor gliserol mencapai hingga 832 juta kg. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan nilai tambah gliserol melalui konversi menjadi senyawa lain, salah satunya adalah asam akrilat, yang merupakan monomer penting pada industri kimia. Selama ini, asam akrilat diproduksi secara komersial melalui oksidasi propilena yang diperoleh dari industri petrokimia dari minyak bumi. Di Indonesia, kebutuhan akan asam akrilat sebagian besar masih dipenuhi melalui impor, dengan volume impor yang berfluktuasi antara 6.000 hingga 8.500 ton per tahun, dan nilai transaksi mencapai ratusan miliar rupiah. Ketergantungan pada impor ini membuka peluang besar untuk mengembangkan produksi asam akrilat dalam negeri, terutama dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia secara melimpah, seperti gliserol.

Konversi gliserol menjadi asam akrilat dapat dilakukan melalui reaksi dehidrasi menjadi akrolein sebagai intermedietnya, serta oksidasi akrolein menjadi asam akrilat. Untuk mendapatkan konversi yang optimal, perlu dilakukan pengembangan katalis bifungsional yang dapat memfasilitasi dua tahap reaksi tersebut dalam suatu metode one-pot process. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan katalis dan metode reaksi konversi gliserol untuk meningkatkan yield asam akrilat. Pengembangan katalis mencakup katalis logam transisi tersangga zeolite dan katalis MOF berbasis aluminium yang diterapkan pada konversi gliserol fasa cair dan gas.

Pada pengembangan katalis logam transisi tersangga zeolite, diperoleh hasil bahwa katalis CuO/HY memberikan yield asam akrilat tertinggi sebesar 32% untuk reaksi pada temperatur 90 oC selama 5 jam dengan penambahan H₂O₂ sebagai oksidator tiap 15 menit. Selanjutnya, teknik penambahan H₂O₂ pada waktu 3 jam setelah dimulainya reaksi dehidrasi mampu meningkatkan yield asam akrilat menjadi 35%. Pada penggunaan katalis MOF fasa cair, dilakukan optimasi dengan memvariasikan jenis promotor logam, variasi konsentrasi gliserol, dan variasi waktu penambahan H₂O₂. Pemilihan kondisi optimum ditentukan berdasarkan yield asam akrilat yang dihasilkan. Hasil terbaik diperoleh dengan penggunaan katalis Fe/Al-BDC dengan rasio 1:10, menghasilkan konversi gliserol 50,85% dan selektivitas asam akrilat sebesar 75,79%.

Reaksi konversi gliserol juga dilakukan dalam fase gas menggunakan reaktor fixed-bed. Perubahan fasa reaksi berhasil meningkatkan konversi gliserol secara signifikan hingga mendekati 100%. Peningkatan konversi tersebut disertai dengan peningkatan pembentukan dimer asam akrilat. Temperatur tinggi dan keberadaan situs asam pada katalis meningkatkan kecenderungan asam akrilat untuk mengalami dimerisasi, sehingga produk dimer terbentuk lebih dominan dibandingkan asam akrilat monomer. Penggunaan katalis Al₁₄ yang dimodifikasi dengan penyangga HZSM-5 dan SBA-15 menghasilkan kinerja optimum pada temperatur 340 °C dengan konversi gliserol mencapai 100%, selektivitas dimer sebesar 88,29%, dan selektivitas asam akrilat sebesar 1,01%. Penggunaan langsung umpan crude glycerol tanpa pretreatment sebagai umpan dengan cepat mendeaktivasi katalis menyebabkan terjadinya coking sehingga performa katalis jauh menurun dibandingkan dengan penggunaan umpan gliserol teknis. Untuk memperoleh kondisi yang layak secara ekonomi penggunaan umpan crude glycerol lebih memungkinkan, namun selektivitas asam akrilat perlu ditingkatkan hingga 45–50% pada konversi gliserol di atas 70%.



PENINGKATAN NILAI TAMBAH GLISEROL MELALUI REAKSI DEHIDRASI-OKSIDASI MENJADI ASAM AKRILAT



Iman Abdullah, S.Si., M.Si., Ph.D. | Prof. Dr. Yuni K. Krisnandi, Msc. | Dr. Rahmat Wibowo, M.Sc | Muhammad Habiburrahman, S.Si. | Fatimah Tresna Pratiwi, S.Si., M.Eng. | Maharani Dewi Solikhah, S.T. M.Sc. | Khairil Amri, S.Si., M.T. | Palupi Trwi Widyanti, S.T., M.Eng.Sc. | Ade Pamungkas, S.T. | Matheofani S.T. | Bertha Verdina, S.Si. | Jasmine Arminta, S.Si.
Universitas Indonesia | Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

LATAR BELAKANG

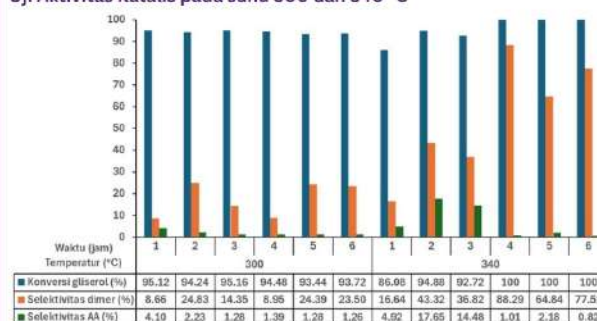
- Indonesia merupakan produsen sawit terbesar di dunia dan penghasil biodiesel yang terus meningkat
- Produksi 46 miliar liter biodiesel (2020), dihasilkan ±4,6 miliar liter gliserol
- Gliserol bernilai ekonomi rendah (USD 200 – 400/ton) namun berpotensi menjadi asam akrilat bernilai tinggi (USD 1200 – 1400/ton)
- Asam akrilat merupakan monomer penting untuk industri polimer, adhesive, superabsorbent, dll.
- Indonesia masih mengimpor asam akrilat ±6.000-8.500 ton/tahun (Rp 110 – 220 M/tahun)



Tujuan Hilirisasi sawit - Meningkatkan nilai tambah di dalam negeri, mengurangi ketergantungan pasar dunia, mengubah ekspor dari bahan mentah menjadi produk olahan, dan substitusi impor.

KATALIS Al-14/S15-25

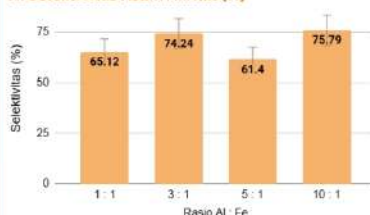
Uji Aktivitas Katalis pada suhu 300 dan 340 °C



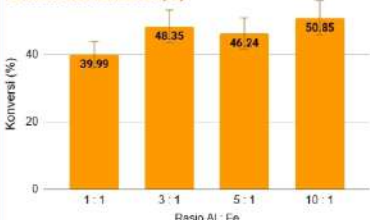
KATALIS Al-Fe/BDC

Uji Aktivitas Katalis - Perbandingan Logam
Reaksi dengan perbandingan H₂O₂ 1 : 2 (mol), tanpa penambahan gugus SO₄

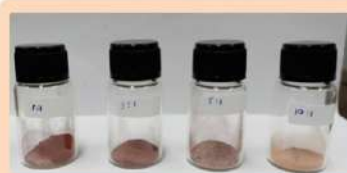
A. Selektivitas Asam Akrilat (%)



B. Konversi Gliserol (%)



Variasi rasio Al:Fe mempengaruhi aktivitas katalitik, dengan **rasio 10:1** memberikan konversi tertinggi dan selektivitas asam akrilat yang **relatif stabil** pada rentang 51-55%

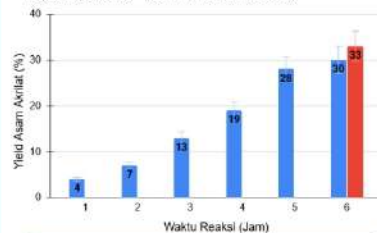


KATALIS Al-Fe/BDC

KATALIS CuO/HY

A. Uji Aktivitas Katalis Fase Cair

Reaksi: Gliserol – kondisi reaksi terbaik



Yield asam akrilat meningkat seiring waktu reaksi, tertinggi mencapai 33% pada 6 jam dengan penambahan H₂O₂ pada tengah-tengah reaksi

B. Reaksi Skala Lebih Besar

Volume reaksi 500 mL – BSTR ca. 3 L & Reaktor Fixed-Bed Tubular



Reaksi skala 500 mL



BSTR ca. 3 L



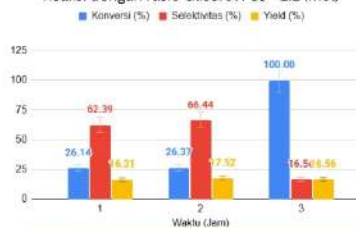
Reaktor Fixed-Bed Tubular (Fase Gas)



Hasil Asam Akrilat Reaksi Fase Cair

C. Uji Aktivitas Katalis Fase Gas

Reaksi dengan rasio Gliserol : O₂ = 2:1 (mol)



Konversi gliserol meningkat seiring waktu reaksi dan mencapai 100% pada jam ketiga. Namun, peningkatan konversi tidak diikuti peningkatan selektivitas dan yield asam akrilat, yang menunjukkan masih terjadinya pembentukan produk samping pada reaksi fase gas.

KESIMPULAN

- Katalis CuO/HY berhasil disintesis dan uji aktivitas pada skala 500 mL menghasilkan yield asam akrilat sebesar **33%**.
- Katalis AlFe/BDC berhasil disintesis dan memberikan selektivitas asam akrilat tertinggi sebesar **75,79%** dengan konversi gliserol 50,85%.
- Penggunaan katalis AlFe/BDC dengan penyangga HZSM-5 dan SBA-15 menghasilkan kinerja optimum pada **340 °C** dengan konversi gliserol mencapai 100%, selektivitas dimer sebesar 88,29%, dan selektivitas asam akrilat sebesar 1,01%.



Dari Riset Menuju Hilirisasi Untuk Indonesia



Iman Abdullah, S.Si., M.Si., Ph.D.
Departemen Kimia, FMIPA UI



iman.abdullah@sci.ui.ac.id

Fatimah Tresna Pratiwi, S.Si., M.Eng.
Badan Riset dan Inovasi Nasional



fati003@brin.go.id



08

TEKNOLOGI PRODUKSI BIODIESEL DARI PFAD DENGAN BUBBLE COLUMN REACTOR SECARA NON-KATALITIK PADA TEKANAN ATMOSFERIK MELALUI APLIKASI FINE BUBBLE

Peneliti: Dyah Wulandani, Y. Aris Purwanto, Soni Solistia Wirawan, Anto Tri Sugiarto, dan Maharani Dewi Solikhah

Biodiesel telah menjadi bahan bakar alternatif yang menjanjikan untuk substitusi minyak solar. Di antara komponen-komponen yang berkontribusi terhadap biaya produksi biodiesel, biaya bahan baku dianggap paling penting sekitar 75 – 90% dari total biaya operasi. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber daya lain yang memiliki harga lebih rendah dapat menekan biaya produksi biodiesel. Salah satunya dengan memanfaatkan bahan baku selain CPO, serta bahan baku dengan kandungan asam lemak tinggi, yaitu palm fatty acid distillate (PFAD).

Metode konvensional untuk menghasilkan biodiesel dari PFAD adalah dengan menggunakan katalis asam homogen seperti asam sulfat untuk reaksi esterifikasi, tetapi memerlukan biaya yang tinggi karena material dalam peralatan produksinya harus tahan korosi dan menimbulkan limbah yang perlu biaya pengolahan.. Oleh karena itu, dikembangkan proses esterifikasi non-katalitik menggunakan superheated methanol vapor (SMV) dalam bubble column reactor pada tekanan atmosfer. Kegiatan riset ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi produksi biodiesel dari PFAD dengan bubble column reactor secara non katalitik pada tekanan atmosferik dengan aplikasi fine bubble, melalui disain reaktor dan nozzle fine bubble, optimasi kondisi operasi dan scale up reaktor skala Laboratorium. Nozzle tipe swirl flow telah diancang dan digunakan untuk produksi biodiesel non-katalitik.

Analisis karakteristik fine bubble dalam biodiesel dilakukan melalui percobaan dengan reaktor transparan pada suhu rendah dan laju metanol tinggi menggunakan metode Particle size analyzer dan Particle image velocimetry berhasil mendapatkan ukuran nanobubbles sebesar 900–1350 nm, dan microbubbles sebesar 35–50 μm . Reaktor biodiesel dengan metode non katalitik Superheated Methanol Vapor dan aplikasi nozzle fine bubble telah berhasil dirancang bangun dengan kapasitas 500 mL dan 2000 mL. Berdasarkan uji coba pada reaktor berkapasitas 500 mL, produksi biodiesel non-katalitik dengan proses SMV menggunakan fine bubbles dapat menghasilkan konversi hingga 97% dengan kadar FFA 0.07%. Kondisi optimal tercapai pada 225 oC - 250 oC dengan waktu reaksi 90 - 130 menit. Penelitian ini telah menghasilkan publikasi ilmiah pada jurnal internasional terindeks Scopus yang berjudul "Design and Characteristic of fine bubble for catalyst-free biodiesel production". Tahap selanjutnya, akan dilakukan uji performansi reaktor skala kapasitas 2000 mL, analisis kualitas produk, dan analisis keekonomiannya.

Teknologi Produksi Biodiesel dari PFAD dengan *Bubble Column Reactor* Secara Non Katalitik pada Tekanan Atmosferik Melalui Aplikasi *Fine Bubble*

Dyah Wulandani, Y. Aris Purwanto, Soni Solistia Wirawan, Anto Tri Sugiarto, dan Maharani Dewi Solikhah

Grant Riset Sawit 2023 No. Kontrak: PRJ-67/DPKS/2023

LATAR BELAKANG

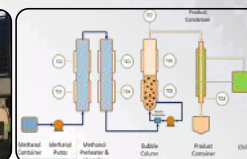
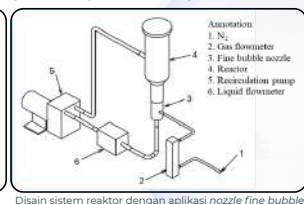
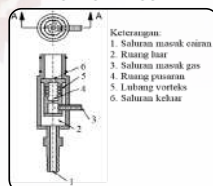
Kebutuhan bahan bakar mesin diesel semakin besar, pada saat yang sama persediaan minyak bumi semakin berkurang. Biodiesel merupakan salah satu alternatif solusi. Penelitian ini membahas metode pembuatan biodiesel non katalitik bertekanan atmosfer pada suhu tinggi, dengan mengaplikasikan *nozzle fine bubble* di dalam reaktor *bubble column* untuk menghasilkan biodiesel dengan mutu yang sesuai dengan SNI. PFAD dipilih sebagai bahan baku karena memiliki harga lebih rendah daripada CPO dan memiliki FFA yang tinggi (70-85%). Penggunaan metode non katalitik ini diharapkan dapat mempersingkat tahapan proses pembuatan biodiesel dan diharapkan dapat menghemat biaya produksi. Namun demikian perlu kajian mengenai desain *nozzle fine bubble*, sistem reaktor, dan laju reaksi pada berbagai kondisi operasi untuk memperoleh hasil yang optimal secara teknis dan ekonomis.

TUJUAN

Mengembangkan teknologi produksi biodiesel dari PFAD dengan *bubble column reactor* secara non katalitik pada tekanan atmosferik dengan aplikasi *fine bubble*, melalui desain reaktor dan *nozzle fine bubble*, optimasi kondisi operasi dan *scale up* reaktor skala Laboratorium.

HASIL PENELITIAN

1. RANCANG BANGUN REAKTOR DAN NOZZLE FINE BUBBLE

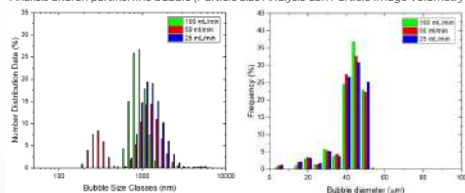


Reaktor biodiesel metode non katalitik SMV dengan fine bubble skala 500 mL

2. KARAKTERISTIK UKURAN FINE BUBBLE



Analisis ukuran partikel fine bubble (Particle Size Analysis dan Particle Image Volumetry)



3. KARAKTERISASI PFAD

Karakterisasi PFAD (% massa):

- Kadar FFA: 83,61%
- Kadar air : 0,08%
- Impurities: 0,26%



PFAD pada suhu ruang

KESIMPULAN

Reaktor biodiesel dengan metode non katalitik *Superheated Methanol Vapor* dan aplikasi *nozzle fine bubble* telah berhasil dirancang bangun pada kapasitas 500 mL dan 2000 mL.

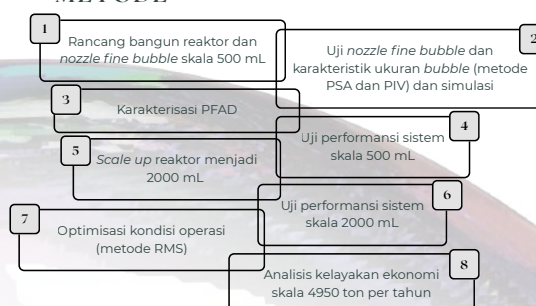
Analisis karakteristik *fine bubble* dalam biodiesel telah dilakukan dengan ukuran *nanobubbles* sebesar 900-1350 nm dan *microbubbles* sebesar 35-50 μm.

Produksi biodiesel non-katalitik dengan proses SMV menggunakan *fine bubbles* dapat menghasilkan konversi hingga 97% dengan kadar FFA 0,07%. Kondisi optimal tercapai pada 225 - 250°C dengan waktu reaksi 90 - 130 menit.

TINDAKLANJUT

- Uji performansi reaktor skala 2000 mL
- Analisis ekonomi skala komersial

METODE



4. PRODUKSI BIODIESEL DAN OPTIMISASI PROSES



Gb. 5 Biodiesel yang diproduksi dengan metoda non katalitik SMV dan aplikasi nozzle fine bubble setiap interval 30 menit proses reaksi



Pada produksi biodiesel non katalitik dengan proses SMV menggunakan *fine bubble*, konversi biodiesel semakin meningkat dengan meningkatnya waktu proses.

Biodiesel dari bahan baku PFAD dengan metode non katalitik lebih jernih dibandingkan dengan biodiesel metode katalitik.

Optimisasi menggunakan metoda *Response Surface Methodology-RMS* dari data percobaan menghasilkan kondisi operasi optimum dengan $R^2 = 0.9641$, pada berbagai kombinasi suhu dan waktu reaksi; pada temperatur reaksi 225°C dalam waktu 130 menit atau 250°C dalam waktu proses 90 menit.

5. SCALE UP



Reaktor biodiesel metode non katalitik SMV dengan *fine bubble* skala 2000 mL

ACKNOWLEDGEMENT

1. Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP)
2. PT PRISCOLIN (Primus Sanus Cooking Oil Industrial)

PUBLIKASI



Scan untuk mendapatkan link publikasi

09

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DEKARBOKSILASI FOTOKATALITIK UNTUK PRODUKSI BIOHIDROKARBON DARI MINYAK SAWIT DAN ASAM ASAM LEMAKNYA PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN AMBIEN

Peneliti: Wibawa Hendra Saputera, Astri Nur Istyami, Carolus Borromeus Rasrendra, Dwiwahju Sasongko, Siska Mutiara, Aprinanda Nafla Aulia Hanifah, Sabila Rahmania

Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) dan asam-asam lemak dari Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) merupakan produk samping yang dihasilkan dari industri pengolahan minyak sawit yang memiliki potensi untuk diokonsversi menjadi biohidrokarbon bernilai tambah, yaitu biodiesel. Salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan adalah dekarboksilasi fotokatalitik dengan memanfaatkan fotokatalis semikonduktor dan cahaya. Teknologi ini dinilai lebih hemat energi dan ramah lingkungan dibandingkan dengan proses termal konvensional karena dilakukan pada tekanan dan temperatur ambien serta memanfaatkan sumber energi yang melimpah dan terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan fotokatalis TiO_2 yang dimodifikasi menggunakan logam Pt, Ni, dan Cu dan diaplikasikan untuk mengonversi PFAD dan asam-asam lemaknya menjadi biohidrokarbon. Selain itu, reaktor skala laboratorium dirancang dan konsep integrasi proses dengan unit produksi bensa sebagai sumber hidrogen dan hidrolisis trigliserida sebagai sumber asam lemak juga dikembangkan,

Fotokatalis Pt/TiO_2 , Ni/TiO_2 , Cu/TiO_2 , Pt-Ni/TiO_2 , Pt-Cu/TiO_2 , dan Cu-Ni/TiO_2 berhasil disintesis menggunakan metode impregnasi basah. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, UV-Vis DRS, Isoterm fisisorpsi nitrogen, SEM, HRTEM-EDX, dan XPS. Hasil karakterisasi dari XRD menunjukkan semua fotokatalis didominasi oleh anatase dan rutil. Analisis UV-Vis DRS menunjukkan bahwa penambahan dopan logam secara signifikan menurunkan band gap TiO_2 dari 3,21 eV (murni) hingga 1,01 eV pada Cu-Ni/TiO_2 yang mengindikasikan perluasan serapan cahaya ke rentang sinar tampak (visible) yang berpotensi meningkatkan efisiensi fotokatalitik. Hasil pengujian isotherm fisisorpsi nitrogen dengan metode BET menunjukkan luas permukaan fotokatalis berkisar antara 55-76 m^2/g dengan distribusi pori pada rentang mesopori (2-50 nm).

Analisis SEM, HRTEM-EDS, dan XPS berhasil mengkonfirmasi keberhasilan deposisi logam Pt, Ni, dan Cu pada permukaan TiO_2 dalam bentuk metalik maupun oksida.

Reaktor batch tipe top-illumination berkapasitas 100 mL dengan lampu Xenon 300 dan 500 Watt berhasil dirancang dan diuji fungsional. Uji aktivitas dekarboksilasi fotokatalitik dilakukan menggunakan asam stearat sebagai model bahan baku dalam pelarut asetonitril. Kondisi operasi yang digunakan adalah waktu penyinaran 2 jam, massa katalis 0,15 g, daya lampu 500 W dan conditioning menggunakan H_2 selama 15 menit. Dari pengujian seluruh variasi fotokatalis, Cu/TiO_2 menghasilkan yield heptadekana tertinggi sebesar 46,48%, sedangkan Pt-Ni/TiO_2 dan Cu-Ni/TiO_2 menunjukkan konversi asam stearat tertinggi masing-masing 99,82% dan 99,37%. Berdasarkan analisis GC-MS, selain heptadekana, terdapat produk samping yang juga teridentifikasi, yaitu oktadekanal, heksadekana, dan asam palmitat.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mengembangkan fotokatalis dan reaktor fotokatalitik untuk konversi asam lemak menjadi biohidrokarbon serta menyusun konsep integrasi proses dalam ekosistem hilirisasi sawit. Meskipun modifikasi logam masih perlu dikembangkan dan kelayakan ekonomi dikaji lebih lanjut, hasil penelitian ini memberikan dasar pengembangan lebih lanjut untuk optimasi fotokatalis dan implementasi teknologi pada skala yang lebih besar.

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DEKARBOKSILASIFOTOKATALITIK UNTUK PRODUKSI BIOHIDROKARBON DARIMINYAK SAWIT DAN ASAM-ASAM LEMAKNYA PADATEMPERATUR DAN TEKINAN AMBIEN

Wibawa Hendra Saputera, Astri Nur Istyami, Carolus Borromeus Rasrendra, Dwiwahju Sasongko, Siska Mutiara, Aprinanda Nafla Aulia Hanifah, Sabila Rahmania



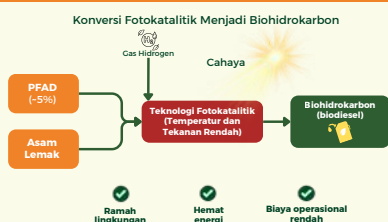
1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil
Kebutuhan BBM:
~1,5 juta bpd
Impor crude Oil: 360.000 bpd
Impor BBM: 400.000 bpd

Bahan bakar nabati
Produksi CPO/CKPO:
51,5 juta ton/tahun
Konsumsi dalam negeri: 15,45 juta ton/tahun (30%)
Ekspor: 36,05 juta ton/tahun (70%)

Dari proses *refining* CPO dihasilkan produk samping PFAD (~5%) dan asam-asam lemak

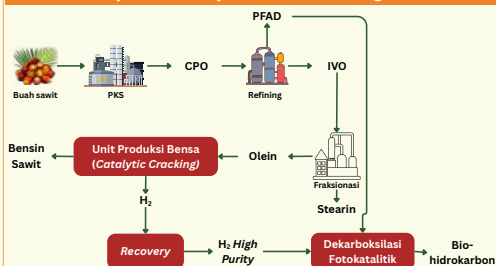
Teknologi alternatif



2 Tujuan

- Mensintesis dan mengkaraktirasi sifat fisik dan kimia fotokatalis TiO_2 yang didoping dengan logam (Pt, Ni, dan Cu).
- Merancang reaktor skala laboratorium dan pilot untuk konversi PFAD dan asam-asam lemak menjadi biohidrokarbon.
- Mengintegrasikan proses dekarboksilasi fotokatalitik dengan unit produksi bensin sebagai sumber gas hidrogen dan hidrolisis trigliserida secara enzimatis sebagai sumber asam-asam lemak.
- Menghitung keekonomian sederhana untuk implementasi produksi biohidrokarbon dari PFAD dan asam-asam lemak dengan teknologi fotokatalitik.

Alur proses dan pemanfaatan integrasi

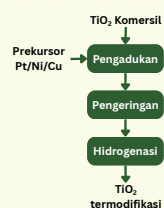


Manfaat dan Potensi Industri

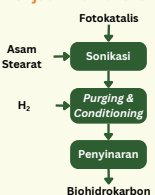
- Meningkatkan nilai tambah PFAD & asam-asam lemak
- Diversifikasi produk hilir sawit
- Mendukung hilirisasi industri nasional
- Mendukung target dekarbonisasi & transisi energi

3 Metode Penelitian

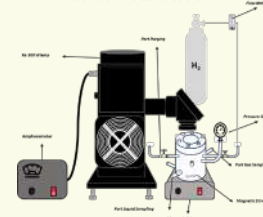
Sintesis Fotokatalis



Konversi Asam Lemak menjadi Biohidrokarbon



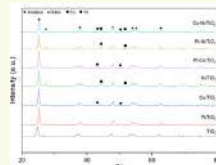
Reaktor Fotokatalitik



* TiO_2 termodifikasi: Pt/ TiO_2 , Ni/ TiO_2 , Cu/ TiO_2 , Pt-Cu/ TiO_2 , Pt-Ni/ TiO_2 , Cu-Ni/ TiO_2
** Biohidrokarbon yang diukur n-heptadekana menggunakan GC-MS

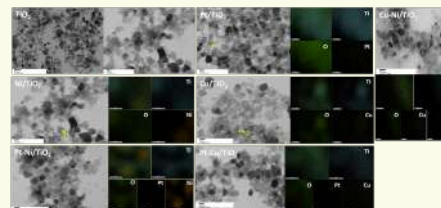
4 Hasil Penelitian

XRD



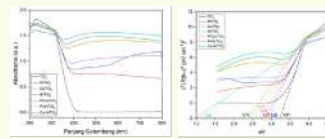
Fotokatalis TiO_2 termodifikasi didominasi anatase dan rutile. Struktur kristal TiO_2 tetap stabil setelah modifikasi logam.

HR-TEM EDX



Logam berhasil terdistribusi pada permukaan TiO_2 = Sintesis berhasil dilakukan

UV Vis DRS



- Kenaikan serapan pada area tampak (*visible*) setelah penambahan dopan logam
- Visible* lebih disukai dari aspek efisiensi energi, ketersediaan, dan selektivitas reaksi

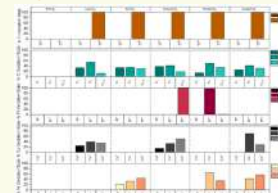
Isoterm Fisiosorpsi Nitrogen

Rekapitulasi luas permukaan, volume pori, dan rata-rata jari-jari pori fotokatalis

Fotokatalis	Luas Permukaan (m^2/g)	Volume Pori (cm^3/g)	Rata-rata Jari-jari Pori (nm)
TiO_2	57.62	0.1679	22.19
Pt/ TiO_2	76.48	0.4719	23.89
Cu/ TiO_2	59.55	0.4055	25.46
Ni/ TiO_2	64.02	0.3084	18.01
Pt-Cu/ TiO_2	55.35	0.3109	25.51
Pt-Ni/ TiO_2	60.01	0.3165	24.28
Cu-Ni/ TiO_2	59.65	0.3184	24.23

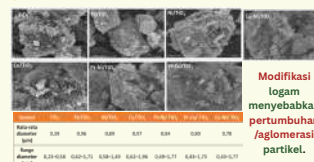
Luas permukaan meningkat = situs aktif reaksi meningkat

XPS



Pembentukan situs logam aktif pada permukaan fotokatalis berhasil dilakukan

SEM

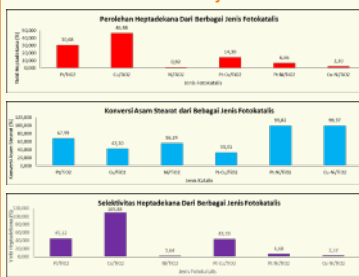


Modifikasi logam menyebabkan pertumbuhan/aglomerasi partikel.

5 Kesimpulan

- Fotokatalis TiO_2 termodifikasi Pt, Ni, dan Cu berhasil disintesis dan dikarakterisasi.
- Reaktor fotokatalitik skala laboratorium berhasil dirancang dan dioperasikan.
- Dekarboksilasi fotokatalitik asam lemak berhasil menghasilkan biohidrokarbon (heptadekana).
- Teknologi menunjukkan potensi untuk meningkatkan nilai tambah produk samping industri sawit.
- Optimasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan performa katalis termodifikasi dan kelayakan ekonomi proses.

Konversi Asam Lemak menjadi Biohidrokarbon



Penelitian ini didanai oleh BPD PKS melalui Grant Riset Sawit (GRS) Tahun 2024 dengan Nomor Kontrak: PRJ-135/DPKS/2024



10

PEMANFAATAN GLISEROL SEBAGAI MEDIA PELARUT DAN PEREKAT PREKURSOR SEL SURYA CZTS DIINTEGRASIKAN PADA GENTENG RUMAH

Peneliti: Tahta Amrillah, S.Si., M.Sc., Ph.D., Muhammad Syahril Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D., Rodik Wahyu Indrawan, S.ST., M.Tr.T., Prisma Megantoro, S.T., M.Eng.

Meningkatnya kebutuhan energi listrik dan keterbatasan cadangan energi fosil mendorong pengembangan teknologi sel surya yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Sel surya lapisan tipis berbasis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan karena menggunakan material yang melimpah di alam, tidak beracun, berbiaya rendah, serta dapat difabrikasi dengan metode sederhana seperti spray coating. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan gliserol, produk sampingan industri kelapa sawit, sebagai media pelarut dan perekat prekursor CZTS untuk mendukung proses sintesis yang lebih efisien sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah industri. Melalui pendekatan tersebut, penelitian bertujuan mengembangkan sel surya lapisan tipis berbasis CZTS yang terintegrasi pada genteng rumah sebagai solusi pembangkit energi terbarukan yang ekonomis, aplikatif, dan berkelanjutan.

Penelitian pengembangan CZTS yang disintesis menggunakan gliserol telah dilaksanakan dan mendapatkan beberapa hasil. Beberapa optimasi juga telah dilakukan, meliputi waktu pengadukan larutan, suhu, serta durasi solvothermal. Setelah melakukan optimasi, prekursor CZTS dapat disintesis dengan menggunakan gliserol dengan jumlah yang besar dengan kemurnian yang tinggi, yaitu dalam autoclave ukuran 250 mL. Pengukuran XRD menunjukkan beberapa puncak yang menjelaskan hanya terdapat fasa CZTS didalam sampel yang telah disintesis menunjukkan kemurnian CZTS yang disintesis. Namun demikian, prekursor CZTS yang dihasilkan tidak terlalu memiliki kristalinitas yang tinggi. Dari pengamatan SEM, terlihat bahwa prekursor CZTS memiliki ukuran skala nanometer, dan distribusi ukuran yang baik.

Hasil prekursor CZTS tersebut digunakan untuk fabrikasi devais sel surya (skala lab) dan genteng sel surya. Susunan lapisan sel surya yang difabrikasi yaitu substrat kaca/TCO/ZnO/CZTS/TCO. Pada fabrikasi devais sel surya, metode yang digunakan adalah spin coating dan spray coating. Terdapat beberapa optimasi yang telah dilakukan, seperti metode fabrikasi, suhu dan durasi annealing,

ketebalan lapisan, serta susunan lapisan sel surya. Hasil uji dari devais sel surya yang telah difabrikasi pada substrat $2 \times 1,5$ cm, didapatkan efisiensi hingga 2,6%. Sedangkan untuk genteng sel surya, difabrikasi menggunakan metode spray coating dan dalam tahap pengembangan.

Luaran penelitian ini meliputi pengembangan teknologi genteng sel surya berbasis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) yang memanfaatkan gliserol sebagai pelarut dan perekat prekursor. Penelitian ditargetkan menghasilkan prototipe alat fabrikasi berbasis spray coating, prototipe genteng sel surya CZTS terintegrasi, paten sederhana terkait metode fabrikasi dan perangkat yang dikembangkan, serta publikasi pada jurnal internasional bereputasi terindeks Scopus. Selain itu, penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan teknologi sel surya berbasis material lokal yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan mudah diaplikasikan. Secara luas, penelitian ini diharapkan mendukung pengembangan energi terbarukan, meningkatkan nilai tambah gliserol, dan mendorong kemandirian energi melalui teknologi sel surya yang ekonomis dan aplikatif.

Sejalan dengan target luaran tersebut, hasil penelitian yang telah diperoleh menunjukkan capaian yang positif. Penelitian ini berhasil mengembangkan prekursor $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) berbasis gliserol dengan kemurnian tinggi melalui metode solvothermal dan mengaplikasikannya pada fabrikasi sel surya lapisan tipis menggunakan metode spin coating dan spray coating. Devais sel surya yang dihasilkan telah mencapai efisiensi hingga 2,6%, sementara pengembangan genteng sel surya berbasis CZTS masih terus dioptimalkan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan potensi pemanfaatan gliserol sebagai bahan pendukung fabrikasi sel surya yang ekonomis dan ramah lingkungan, serta menjadi langkah awal menuju pengembangan teknologi genteng sel surya yang mendukung energi terbarukan dan kemandirian energi.

Pemanfaatan Gliserol Sebagai Media Pelarut dan Perekat Prekursor Sel Surya CZTS Diintegrasikan pada Genteng Rumah

NO. KONTRAK: PRJ-129/DPKS/2024

I. Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan energi listrik dan keterbatasan cadangan energi fosil mendorong pengembangan teknologi sel surya yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Sel surya lapisan tipis berbasis $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan karena menggunakan material yang melimpah di alam, tidak beracun, berbiaya rendah, serta dapat difabrikasi dengan metode sederhana seperti spray coating. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan gliserol, produk sampingan industri kelapa sawit, sebagai media pelarut dan perekat prekursor CZTS untuk mendukung proses sintesis yang lebih efisien sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah industri.

II. Tujuan Penelitian

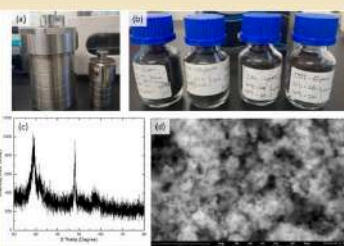
1. Mensintesis prekursor CZTS berkualitas tinggi dengan skala besar menggunakan gliserol sebagai pelarut via metode sintesis solvotermal.
2. Memfabrikasi sel surya CZTS terintegrasi pada genteng dengan performa tinggi menggunakan metode spray coating.
3. Menganalisis dampak keekonomian gliserol yang merupakan produk sampingan kelapa sawit sebagai bahan pelarut untuk fabrikasi sel surya CZTS terintegrasi genteng.

III. Metodologi



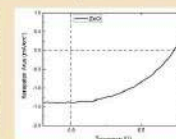
IV. Capaian Hasil

Penelitian pengembangan CZTS yang disintesis menggunakan gliserol telah dilaksanakan dan mendapatkan beberapa hasil. Setelah melakukan optimasi, prekursor CZTS dapat disintesis dengan menggunakan gliserol dengan jumlah yang besar dengan kemurnian yang tinggi, yaitu dalam autoclave ukuran 250 mL (Gambar 1a-b). Pengukuran XRD menunjukkan beberapa puncak yang menjelaskan hanya terdapat fasa CZTS didalam sampel yang telah disintesis menunjukkan kemurnian CZTS yang disintesis (Gambar 1c). Namun demikian, prekursor CZTS yang dihasilkan tidak terlalu memiliki kristalinitas yang tinggi. Dari pengamatan SEM, terlihat bahwa prekursor CZTS memiliki ukuran skala nanometer, dan distribusi ukuran yang baik (Gambar 1d).



Gambar 1. (a) Sintesis prekursor CZTS menggunakan autoclave ukuran 250 mL. (b) Hasil sintesis prekursor CZTS jumlah besar. (c) Hasil XRD menunjukkan CZTS yang disintesis memiliki kemurnian tinggi. (d) Hasil pengukuran SEM menunjukkan morfologi prekursor CZTS yang telah disintesis.

Hasil prekursor CZTS tersebut digunakan untuk fabrikasi devais sel surya (skala lab) dan genteng sel surya. Susunan lapisan sel surya yang difabrikasi yaitu substrat kaca/TCO/ZnO/CZTS/TCO. Beberapa optimasi yang telah dilakukan, seperti metode fabrikasi, suhu dan durasi annealing, ketebalan lapisan, serta susunan lapisan sel surya. Hasil uji dari devais sel surya yang telah difabrikasi pada substrat 2x1,5 cm, didapatkan efisiensi hingga 2,6% (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva J-V dari sampel sel surya CZTS

V. Luaran

1. Prototipe alat fabrikasi divais solar cell genteng.
2. Paten sederhana alat fabrikasi divais solar cell genteng
3. 2 (Dua) jurnal internasional
4. Prototipe divais solar cell genteng
5. Paten sederhana divais solar cell genteng

Kelompok Peneliti

1. Tahta Amrillah, S.Si., M.Sc., Ph.D.
2. Muhammad Syahril Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D.
3. Rodik Wahyu Indrawan, S.ST., M.Tr.T.
4. Prisma Megantoro, S.T., M.Eng.



11

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI ASAM LAKTAT DAN ASAM FORMAT MELALUI HIDROGENASI PEMINDAHAN KATALITIK CO₂ OLEH GLISEROL

Peneliti: Susila Arita, Leily Nurul Komariah, Neza Rahayu Palapa, Nino Rinaldi, Cindi Ramayanti, Enggal Nurisman, Lia Cundari

Asam laktat (AL) merupakan produk kimia komoditas yang bermanfaat di sektor pangan, kesehatan dan kosmetika dan prekursor utama asam polilaktat (PLA). Demikian pula dengan asam format (AF), yang dikenal sebagai molekul serbaguna dengan aplikasi luas baik di industri kimia maupun energi terbarukan. Belakangan, asam format digadang-gadang sebagai cairan organik pembawa hidrogen paling potensial. Dalam rangka valorisasi gliserol, AL dan AF sangat mungkin dihasilkan simultan melalui jalur transformasi kimia katalitik. Diketahui bahwa gliserol merupakan senyawa poliol yang mengandung banyak gugus hidroksil (OH), yang dapat berfungsi sebagai donor hidrogen. Heltzel et al., (2018) membandingkan energi bebas ΔG dari reaksi hidrogenasi langsung dan hidrogenasi pemindahan CO₂ dari gliserol, dan membuktikan bahwa proses hidrogenasi pemindahan CO₂ lebih menguntungkan secara termodinamika.

Agenda utama dalam penelitian (tahun pertama) ini membuktikan bahwa gliserol melepas atom-atom hidrogen dengan mengalami serangkaian tahap reaksi membentuk senyawa antara reaktif sampai terbentuk laktat. Sementara, kehadiran CO₂ bertindak sebagai akseptor hidrogen yang terbentuk secara insitu, mengikatnya (hidrogenasi CO₂) lalu kemudian direduksi menjadi asam format.

Konversi gliserol melalui jalur reaksi kimia untuk membentuk AL dan AF dapat terjadi dengan bantuan katalis yang sesuai. Penelusuran katalis telah diselenggarakan dalam rangka menemukan katalis dengan kinerja terbaik untuk hidrogenasi pemindahan CO₂ dari gliserol. Sintesis katalis telah dilakukan mencakup variasi (1) logam tunggal (single-atom catalyst) dengan penyangga seperti Cu(II) Format, Pd/C, (2) logam mulia dengan ligand (Ru-NHC), (3) katalis bimetal, dalam berbagai formasi seperti metal-organic frameworks (MOF) dan hidroksida ganda berlapis (LDO), seperti Ag/Ni, Ni/Cu/Al₂O₃, Cu/Al (LDO), Zn/Al (LDO), dan (4) campuran oksida logam (mixed metal oxide) seperti Ni/Al/Zn. Hasil uji pada reaksi konversi gliserol mengungkapkan 3 (tiga) katalis dengan kinerja terbaik yaitu Cu/Al (LDO), Ni/Cu/Al₂O₃, Ni/Al (LDO).

Ketiga kandidat katalis ini relatif terjangkau secara ekonomi, menggunakan prekursor yang mudah diperoleh, tidak melibatkan logam mulia, serta disintesis dengan metode umum seperti impregnasi (basah/kering), kopresipitasi, dan/atau hidrotermal.

Pada penelitian ini transfer hidrogenasi katalitik CO₂ diuji melalui reaksi hidrotermal suhu 175-250 °C, dalam sistem alkali menggunakan KOH, NaOH dan K₂CO₃. Dibandingkan dengan sistem alkali hidrotermal atau transfer hidrogenasi dalam sistem NaOH dan KOH, rute konversi dalam sistem gliserol-K₂CO₃ (TH-KG) menyediakan lingkungan alkali yang lebih moderat. K₂CO₃ tidak saja memberi suasana basa, namun menyeimbangkan reaksi yang secara bersamaan mengaktifkan gliserol (sebagai gliserolat) dan CO₂ yang memberikan kesetimbangan sebagai bikarbonat/karbonat. Disimpulkan bahwa rute TH-KG dengan bantuan katalis Cu/Al (LDO) adalah jalur yang paling menjanjikan untuk produksi selektif asam laktat dan asam format, dimana gliserol berhasil terkonversi 86.9%. Yield AL dan AF masing-masing adalah 56.59%, dan 25.82%, dengan rasio mol AL/AF sebesar 20,9. Produk yang dihasilkan dari proses transfer hidrogenasi katalitik CO₂ dari gliserol dalam sistem K₂CO₃ pada suhu 250 °C dengan katalis Cu/Al (LDO), membuktikan terjadinya rute sinergis dan simultan dari reaksi dehidrogenasi, dehidrasi, rearrangement, dan transfer hidrogenasi CO₂, sebelumnya dan/atau bersamaan dengan itu terjadi reverse water gas shift (RWGS) dan polimerisasi gliserol.

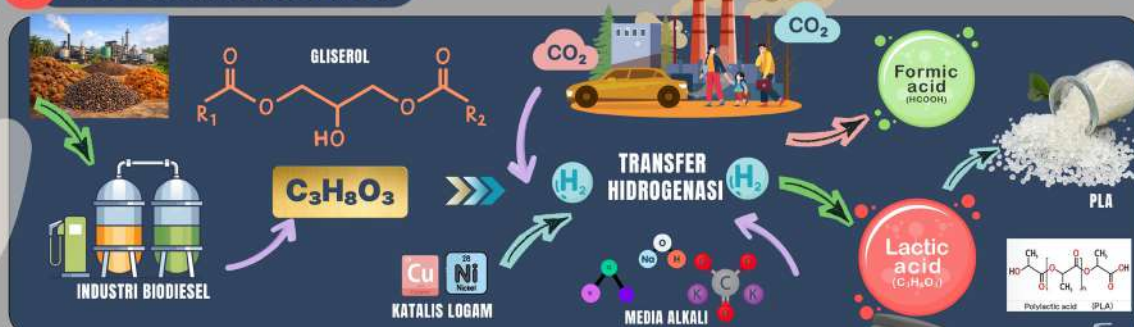
Pengembangan lanjut penelitian ini meliputi optimasi proses sintesis dengan meningkatkan selektivitas AL dan AF, mengurangi terbentuknya produk ikutan seperti gas, residu karbon dan produk oligomer. Selain itu, akan dilakukan studi kinetika dalam rangka perancangan reaktor dan kajian eskalasi proses produksi, ditambah dengan pengembangan metode pemisahan dan pemurnian senyawa laktat dan format sampai dapat memenuhi persyaratan kelayakan secara industri.

No. PRJ-134/DPKS/2024

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI ASAM LAKTAT DAN ASAM FORMAT MELALUI HIDROGENASI PEMINDAHAN CO₂ KATALITIK OLEH GLISEROL

PROF. SUSILA ARITA - DR. LEILY NURUL KOMARIAH- DR. NINO RINALDI-
DR. NEZA RAHAYU PALAPA-CINDI RAMAYANTI- ENGGAL NURISMAN-LIA CUNDARI

01 VALORISASI GLISEROL



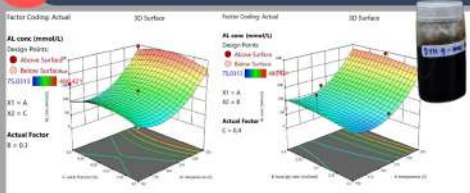
02 HIDROGENASI PEMINDAHAN



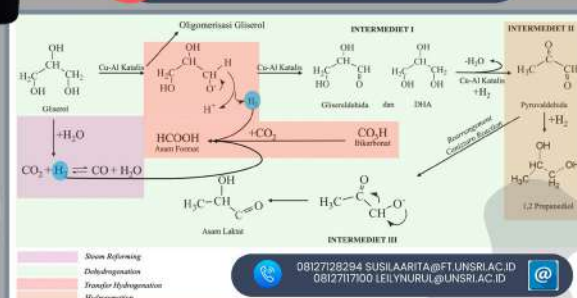
03 KATALIS DENGAN KINERJA TERBAIK



04 KONDISI PROSES & PRODUK



05 MEKANISME REAKSI





KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

BIOMATERIAL DAN OLEOKIMIA

12

Produksi Skala Pilot "Lithium Grease" Multifungsi Berbahan Baku Minyak Kotor (MIKO)/Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Mikrogelombang dalam Rangka Mewujudkan Ekonomi Sirkular

Peneliti: Dr. Mohammad Khotib, SSi, Msi dan tim peneliti

Penelitian ini bertujuan mengembangkan teknologi produksi lithium grease berbasis minyak kotor (MIKO)/High Acid Crude Palm Oil (HACPO) sebagai alternatif pelumas ramah lingkungan yang dapat menggantikan produk berbasis minyak mineral sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah industri kelapa sawit. Pemanfaatan MIKO sebagai bahan baku minyak dasar, pengental, dan aditif diharapkan mampu mendukung implementasi konsep ekonomi sirkular pada industri kelapa sawit.

Penelitian berhasil merancang dan merealisasikan reaktor mikrogelombang skala pilot yang terdiri atas dua unit microwave berkapasitas 40 liter dan satu unit microwave berkapasitas 100 liter. Teknologi mikrogelombang dipilih karena mampu mempercepat proses sintesis dibandingkan metode pemanasan konvensional yang umumnya membutuhkan waktu 3–6 jam. Reaktor yang dikembangkan mampu menghasilkan produk grease hingga 10 kg per proses produksi.

Karakterisasi bahan baku HACPO menunjukkan kualitas yang memadai sebagai bahan dasar pembuatan grease dengan nilai bilangan peroksida rata-rata 3,74%, bilangan iod 45,76 g I₂/100 g, bilangan penyabunan 205,67 mg KOH/g minyak, dan bilangan asam 6,34 mg KOH/g minyak. Selain itu, HACPO berhasil dimodifikasi menjadi berbagai komponen fungsional, meliputi minyak dasar (base oil), pemodifikasi friksi berbasis amidasi, serta aditif antikoroosi melalui proses aminasi dan eterifikasi. Seluruh tahapan sintesis berhasil dilaksanakan menggunakan bantuan energi mikrogelombang.

Hasil utama penelitian adalah keberhasilan formulasi dan produksi tiga jenis lithium grease berbasis HACPO dengan berbagai tingkat kekentalan. Formulasi yang dikembangkan menggunakan HACPO, litium hidroksida, polibutena, parafin, grafit, ZDTP, dan BHT sebagai komponen utama. Pengujian mutu oleh LEMIGAS menunjukkan bahwa produk memiliki karakteristik pelumasan yang baik, memenuhi parameter penetrasi, ketahanan aus, perlindungan korosi, serta ketahanan terhadap karat. Berdasarkan hasil pengujian, produk yang dihasilkan termasuk dalam kategori NLGI 0, NLGI 1, dan NLGI 1–2, sehingga berpotensi digunakan pada berbagai aplikasi industri dan otomotif.

Dari sisi hilirisasi, penelitian telah menghasilkan berbagai luaran penting berupa prototipe reaktor, prototipe minyak dasar, sabun litium, aditif pemodifikasi friksi, aditif antikoroosi, prototipe lithium grease, draft artikel ilmiah, serta rancangan Detail Engineering Design (DED) untuk pengembangan skala industri. Produk juga telah diuji coba pada lingkungan industri dan menunjukkan performa yang menjanjikan untuk aplikasi nyata.

Analisis kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa usaha produksi lithium grease sangat prospektif untuk dikomersialisasikan. Hasil perhitungan menunjukkan NPV sebesar Rp2,11 miliar, IRR 56%, Net B/C 3,52, dan payback period 23,6 bulan, yang seluruhnya memenuhi kriteria investasi yang layak. Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah serta harga jual yang kompetitif, produk lithium grease berbasis MIKO memiliki peluang besar untuk dikembangkan sebagai produk pelumas nasional berbasis sumber daya terbarukan dan mendukung pembangunan ekonomi sirkular di Indonesia.



LITHIUM GREASE BERBASIS MINYAK KOTOR (MIKO) KELAPA SAWIT SEBAGAI PELUMAS RAMAH LINGKUNGAN

Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan untuk Kemandirian
Industri Pelumas Nasional



badan pengelola dana
perkebunan kelapa sawit

DIDANAI OLEH BPDP – BADAN PENGELOLA DANA PERKEBUNAN KELAPA SAWIT
TAHUN ANGGARAN 2023

LATAR BELAKANG

Minyak kotor (MIKO) merupakan limbah cair dari pabrik kelapa sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini mengembangkan teknologi pembuatan *lithium grease* berbasis MIKO sebagai pelumas ramah lingkungan yang dapat menjadi substitusi pelumas berbasis mineral dan mendukung kemandirian industri.



Limbah MIKO
dari Pabrik Kelapa Sawit



MIKO
(High Acid Crude Palm Oil)

TUJUAN PENELITIAN

- ✓ Mengembangkan teknologi konversi MIKO menjadi minyak dasar, aditif, dan formulasi *lithium grease* berkinerja tinggi.
- ✓ Menghasilkan prototipe *lithium grease* berbasis MIKO yang memenuhi standar SNI.
- ✓ Menguji kinerja dan daya terima produk di industri.
- ✓ Melakukan kajian kelayakan teknis dan ekonomi untuk komersialisasi produk.

KEUNGGULAN PENELITIAN

- ✓ Memanfaatkan limbah MIKO menjadi produk bernilai tinggi
- ✓ Ramah lingkungan dan mendukung prinsip ekonomi sirkular
- ✓ Proses berbantuan mikrogelombang: lebih cepat, hemat energi
- ✓ Performa setara pelumas komersial
- ✓ Potensi substitusi impor & nilai ekonomi tinggi

METODOLOGI PENELITIAN (PROSES PRODUKSI)

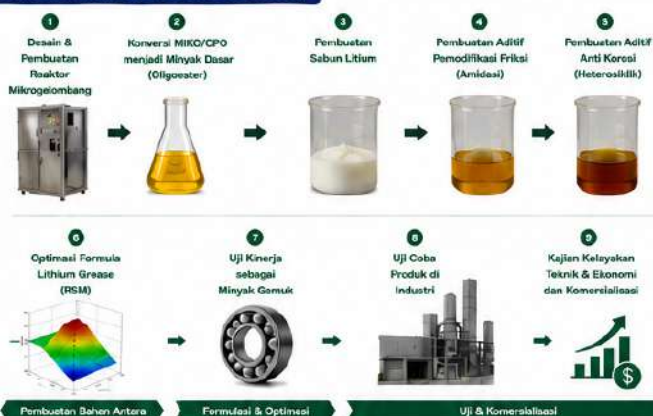
MICROWAVE YANG DIGUNAKAN



- ✓ Microwave industri kapasitas 100 liter (skala pilot) berbahan stainless steel.
- ✓ Dilengkapi sistem pengaduk berputar, kontrol suhu, waktu, daya (watt) dan panel digital.
- ✓ Mempercepat reaksi kimia, lebih hemat energi, dan menghasilkan produk berkualitas tinggi.

SPEKIFIKASI UTAMA

Kapasitas	100 liter
Daya Microwave Maks.	6 kW (dapat diatur)
Pengaduk	Berputar (motorized)
Kontrol	Suhu, waktu, daya, digital panel
Bahan	Stainless Steel (SS 304)
Sumber Daya	380-440 VAC, 50-60 Hz



PROTOTYPE PRODUK LITHIUM GREASE BERBASIS MIKO



- ✓ Warna: metallic grey
- ✓ Tekstur: semi padat, homogen
- ✓ Tipe: NLGI 1, NLGI 2, NLGI 3
- ✓ Mengandung aditif pemodifikasi friksi dan anti korosi dari MIKO
- ✓ Perlindungan suhu tinggi & tekanan ekstrem
- ✓ Proses cepat dengan bantuan mikrogelombang (30-60 menit)

HASIL UJI LEMIGAS PADA PRODUK LITHIUM GREASE

No	Characteristics	Unit	Test Result of NLGI 1	Test Result of NLGI 2	Test Result of NLGI 3	Method
1	Penetration (unworked), @25 °C	Mm/10	185	106	94	ASTM D217-21
2	Penetration (worked), @25 °C	Mm/10	369	326	308	ASTM D217-21
3	NLGI	-	0	1	1-2	-
4	Dropping Point	°C	64	142	146	ASTM D2266-20
5	Color Visual	-	Dark grey	Dark grey	Dark grey	Visual
6	Wear Scar Dia. (Four Ball)	Mm	0.80	0.83	0.72	ASTM D2266-01(2015)
7	Welding Point	Kgf	160	150	150	ASTM D2599-20
8	Copper Strip Corrosion at 100 °C, 24 h	-	1a	1a	1b	ASTM D4048
9	Rust Preventing	-	Pass	Pass	Pass	ASTM D665-10
10	LWI	-	25.806	28.290	33.271	-
11	Last Non Seizure	-	40	40	40	-

Catatan: Hasil uji menunjukkan prototipe *lithium grease* berbasis MIKO memenuhi standar SNI untuk NLGI 1, NLGI 2, dan NLGI 3 dan memiliki performa setara produk komersial.

UJI COBA DI INDUSTRI

PT Bumi Sawindo Permai (Palmbang)

- ✓ Grease litium komplek NLGI 3
- ✓ Uji coba pada mesin produksi sejak Oktober 2021
- ✓ Kinerja baik, tidak ada efek negatif

PT Kawat Enamel Indonesia (Pasuruan)

- ✓ Grease litium komplek NLGI 2
- ✓ Uji coba sejak Januari 2022
- ✓ Sampai Februari 2022 tidak ada efek negatif

Hasil uji coba menunjukkan kinerja baik dan dapat diterima untuk aplikasi pelumas pada mesin industri.



PENGHARGAAN PRESTASI

18 INOVATOR IPB
INOVASI PALING PROSPEKTIF DI INDONESIA
TAHUN 2023



Inovasi "Lithium Grease Berbasis Minyak Kotor (MIKO)" dari IPB University terpilih sebagai 18 Inovasi Paling Prospektif di Indonesia Tahun 2023 pada ajang 18 Inovator IPB.

TIM PENELITIAN

- 1 Dr. Mohammad Khotib, S.Si, M.Si.
- 2 Dr. Ir. Burhanuddin, M.M.
- 3 Dr. Zainal Alim Mas'ud, DEA.
- 4 Dr. Nisa Roselena, S.P., M.Si.
- 5 Eny Sulisty Hermyanti, S.T. (Mitra)

KONTAK PENELITIAN

0818-0970-5705
(Dr. Mohammad Khotib, M.Si.)
Email: mohammadkhotib@apps.ipb.ac.id

IPB University – Inovasi untuk Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan

13

SINTESIS ALKYD RESIN BERBASIS PALM FATTY ACID DISTILLATE (PFAD) DAN APLIKASINYA SEBAGAI COATING MATERIAL

Peneliti: Desi Nurandini, S.T., M.Eng., Dr. Isna Syauqiah, S.T., M.T., dan Lestari H. Saputri, S.T., M.Eng.

Korosi rentan terjadi pada mesin-mesin industri yang terbuat dari logam dimana salah satu solusinya adalah dengan mengaplikasikan lapisan coating. Alkyd resin merupakan produk polimer yang banyak digunakan dalam industri coating. Namun industri coating yang menggunakan alkyd resin sintetis menghasilkan emisi komponen solven organik volatil yang bersifat hazard dan limbahnya sukar terdegradasi. Modifikasi alkyd resin dengan bahan alam seperti minyak nabati maupun asam lemaknya berpotensi untuk menghasilkan coating yang lebih ramah lingkungan.

Indonesia merupakan produsen minyak sawit (CPO) terbesar di dunia saat ini. Kilang minyak sawit menghasilkan palm fatty acid distillate (PFAD) sebagai produk samping. Pada penelitian ini memanfaatkan PFAD untuk modifikasi alkyd resin sehingga menghasilkan produk alkyd resin yang berkelanjutan dan lebih ramah lingkungan. Tujuan dari riset ini adalah mengembangkan teknologi sintesis alkyd resin untuk fabrikasi coating dengan memanfaatkan PFAD dan gliserol serta pengaplikasiannya untuk mengendalikan korosi pada logam di industri. Pada riset ini PFAD, gliserol, dan anhidrida ftalat direaksikan melalui metode fatty acid yang terdiri atas satu tahap sintesis selama 4 jam pada kisaran temperatur 180-260°C dengan variasi komposisi reaktan. Proses sintesis alkyd resin dari pure palm fatty acid dilakukan dengan cara yang sama sebagai komparasi. Selain itu dilakukan pula studi kinetika reaksi pada sintesis alkyd resin tanpa katalis dan dengan katalis. Selanjutnya adalah fabrikasi coating dimana alkyd resin ditambahkan solvent dan resin amino dengan komposisi yang telah ditentukan untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi pada produk coating tersebut.

Hasil analisis bilangan asam terbaik senilai 14,586 mg KOH/g diperoleh dari alkyd resin berbasis PFAD pada temperatur 240°C dan komposisi 0,8:1:1. Pada hasil uji bilangan iodin ditunjukkan bahwa nilai bilangan iodin yang dihasilkan masih rendah (kurang dari standar 100 mg/g) dikarenakan bahan baku PFAD/FFA murni yang tergolong bahan non-drying.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi hal ini digunakan bahan aditif resin amino untuk membantu proses pengeringan pada aplikasi coating. Dari hasil pengujian viskositas ditunjukkan bahwa variasi suhu, dihasilkan nilai viskositas yang cenderung semakin besar dengan meningkatnya suhu, sedangkan pada variasi komposisi bahan baku menunjukkan bahwa semakin besar rasio bahan baku PFAD yang digunakan maka viskositas akan semakin kecil. Hasil uji FTIR menunjukkan pada spektra produk alkyd resin terlihat adanya puncak karbonil (C=O) yang lebih panjang yaitu sekitar 1718,90 cm⁻¹-1727,05 cm⁻¹ karena terjadi vibrasi C=O dari ester yang lebih kompleks atau yang lebih terikat secara molekuler, seperti yang terbentuk dalam reaksi esterifikasi antara asam lemak dari PFAD dengan gliserol dan phthalic anhydride.

Berdasarkan hasil karakterisasi produk alkyd resin berbasis PFAD diperoleh hasil terbaik dari hasil sintesis pada suhu reaksi 240°C dan rasio mol PFAD:gliserol:phthalic anhydride pada 0,4:1:1 dan 0,6:1:1, sedangkan hasil terbaik produk coating material yaitu pada komposisi dengan solvent 40%wt. dan aditif amino resin sejumlah 50%wt. terhadap alkyd resin. Hasil karakterisasi produk alkyd resin berbasis FFA diperoleh hasil terbaik dari hasil sintesis pada suhu reaksi 240°C dan rasio mol PFAD:gliserol:phthalic anhydride pada 0,8:1:1, sedangkan hasil terbaik produk coating material yaitu pada komposisi dengan solvent 40%wt. dan aditif amino resin sejumlah 50%wt. terhadap alkyd resin. Sintesis alkyd resin dari bahan baku PFAD maupun FFA memperoleh produk yang sebagian besar telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-0504-1989 dan ASTM D1308. Alkyd resin dengan bahan baku PFAD menghasilkan kualitas coating yang lebih baik, dengan hasil kecepatan pengeringan lebih cepat dibanding alkyd resin dari bahan baku FFA.

1 MENGAPA RISET INI PENTING?

Kilang minyak sawit menghasilkan PFAD sebagai produk samping

The diagram illustrates the processing flow of a palm oil mill. It starts with a green landscape representing the plantation area. A yellow truck is shown transporting material to a large orange cylindrical tank. From this tank, a red arrow points to a smaller orange cylindrical tank. A red arrow then points from the smaller tank to a blue and white building, which is labeled 'PFAD' and represents the final product, palm fatty acid distillate.

4. Modifikasi *alkyd resin* dengan *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) yang ketersediaannya cukup melimpah

5. Bahan lain yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol merupakan produk samping produksi biodiesel dari CPO dan anhidrida ftalat ditingkatkan nilainya untuk sintesis alkyd resin

Mengembangkan teknologi untuk sintesis alkyd resin berbasis *Palmitic Fatty Acid Distillate (PFAD)* dan *Free Fatty Acid (FFA)* serta pengaplikasiannya sebagai *coating material* khususnya untuk mengendalikan korosi pada logam di industri

PFAD GLISERO

[illegible]

Perbandingan Diagram			
PFAD		FEA	
Perbandingan Sifat			
PFAD		FEA	

5 ACKNOWLEDGEMENT

TIM PENELITIAN :

Desi Nurandini, S. T., M. Eng.
Dr. Isna Syauqiah, S. T., M. T.
Lestari Hetalesi Saputri, S. T.

Produk Alkyd Resin dan
Coating Material dari PFAD

Produk Alkyd Resin dan
Coating Material dari PFAD

- Hasil karakterisasi terbaik produk *alkyd resin* berbasis PFAD diperoleh dari sintesis pada suhu reaksi 240°C dan rasio mol PFAD:isofthalic anhydride pada 0,4:1,1 dan 0,6:1,1, sedangkan untuk *alkyd resin* berbasis FFA adalah suhu reaksi 240°C dan rasio mol 0,8:1,1
- Hasil karakterisasi terbaik produk *coating material* diperoleh pada komposisi solvent 40wrt, dan amino resin 50wrt terhadap *alkyd resin*, baik dari PFAD maupun FFA.
- Produk *alkyd resin* dan *coating material* berbasis PFAD maupun FFA secara umum telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-0504-1989 dan ASTM D1308. *Alkyd resin* dengan berbasis PFAD menghasilkan kualitas *coating* yang lebih baik, dengan waktu pengeringan lebih cepat (1 hari) dibanding *alkyd resin* dari bahan baku FFA.

14

Pengembangan dan Produksi Wood Plastic Composite (WPC) Berbahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Aplikasi Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

Peneliti: Adam Febriyanto Nugraha, Mochamad Chalid, Azizah Intan Pangesty, Yora Faramitha, Firda Dimawarnita, Muhammad Hanif Ainun Azhar, dan Siti Mutia Mawaddah.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomassa melimpah dari industri kelapa sawit yang berpotensi dikembangkan menjadi produk bernilai tambah. Penelitian ini memanfaatkan TKKS dan plastik daur ulang (recycled polyethylene/rPE) menjadi Wood Plastic Composite (WPC) sebagai material konstruksi ramah lingkungan yang mendukung ekonomi sirkular.

Penelitian dilaksanakan selama dua tahun dan mencakup tahap laboratorium serta tahap scale-up produksi. Pada tahap awal dilakukan studi karakteristik bahan baku TKKS, serat jati, dan sekam padi sebagai pembanding, dilanjutkan dengan formulasi WPC menggunakan rPE serta evaluasi sifat mekanik material. Proses produksi meliputi pencampuran bahan (compounding), pembuatan pellet WPC, serta karakterisasi produk. Pada tahun kedua dilakukan scale-up proses yang mencakup tahapan pengangkutan, penggilingan dan penghalusan TKKS, pengayakan, hingga proses compounding skala lebih besar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa WPC berbahan TKKS memiliki performa mekanik yang kompetitif dibandingkan dengan WPC berbasis jati dan sekam padi. Pada formulasi low fiber content, WPC berbahan TKKS menghasilkan kekuatan tarik sebesar 37,45 MPa, modulus elastisitas 1,91 GPa, kuat impak 9,93 kJ/m², dan kekerasan 58,8 Shore D. Secara keseluruhan, WPC berbasis TKKS memberikan performa yang sebanding dengan material pembanding, terutama pada parameter kekuatan tarik dan kekerasan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa serat TKKS memiliki potensi yang baik sebagai penguat komposit untuk aplikasi konstruksi ringan.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga mengevaluasi kelayakan pengembangan industri melalui pendekatan teknoekonomi yang dibagi menjadi tiga modul: 1) produksi serbuk TKKS, 2) produksi pellet WPC, dan 3) produksi produk WPC. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketiga modul memiliki prospek finansial yang layak dengan nilai tambah yang meningkat pada setiap tahapan proses, yaitu sebesar Rp1.122/kg pada produksi serbuk TKKS, Rp3.634/kg pada pellet WPC, dan Rp17.609/kg pada produk WPC. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan TKKS tidak hanya mampu mengurangi limbah, tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi secara signifikan.

Sebagai bentuk implementasi hasil penelitian, telah dikembangkan berbagai prototipe produk konstruksi berbasis WPC-TKKS, antara lain thatch (atap sintetis), bamboo profile, dan cladding pada skala lebih besar melalui kegiatan scale-up dan diaplikasikan dalam pembangunan gazebo showcase sebagai demonstrasi teknologi. Gazebo tersebut berfungsi sebagai bukti konsep (proof of concept) bahwa material WPC-TKKS dapat diproses menjadi komponen konstruksi yang fungsional dan estetis untuk sektor perumahan maupun bangunan ramah lingkungan. Penelitian ini juga menghasilkan luaran berupa publikasi ilmiah internasional dan pendaftaran paten sederhana yang memperkuat kesiapan teknologi menuju tahap hilirisasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan TKKS berpotensi menjadi material konstruksi yang kompetitif dan berkelanjutan untuk mendukung industri konstruksi hijau di Indonesia.

PENGEMBANGAN DAN PRODUKSI WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC) BERBAHAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK APLIKASI BAHAN KONSTRUKSI RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN

No. Kontrak : PRJ-72/DPKS/2023

Adam Febriyanto Nugraha, Mochamad Chalid, Azizah Intan Pangesty, Yora Faramitha, Firda Dimawarnita, Ismojo, Muhammad Hanif Ainun Azhar dan Siti Mutia Mawaddah.

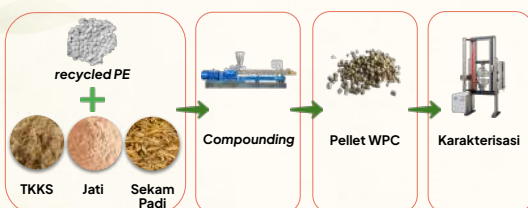
1 SEPENTING APA RISET INI ?

TKKS: MELIMPAH & MEMILIKI POTENSI BESAR



ALUR PROSES PENELITIAN

1. Perbandingan serat TKKS, jati dan sekam padi
2. Formulasi low & high content fiber
3. Karakterisasi sifat mekanik

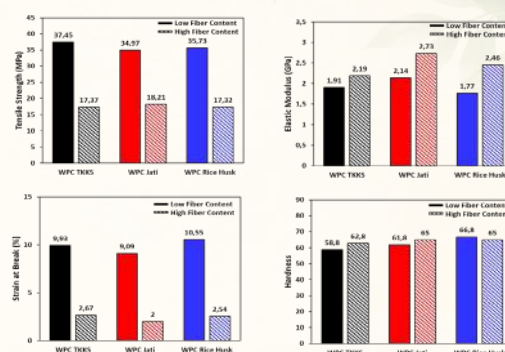


SCALE-UP PRODUKSI



2 APA YANG SUDAH DIBUKTIKAN ?

A. PERFORMA MEKANIK WPC



Secara keseluruhan, WPC berbasis TKKS menunjukkan performa yang kompetitif terhadap serat jati dan sekam padi, terutama pada formulasi **low fiber content**.

B. ANALISA TEKNO EKONOMI



Ketiga modul menunjukkan **kelayakan finansial dan peningkatan nilai tambah** di setiap tahap.

3 APA PRODUK DAN LUARAN YANG DIHASILKAN ?

HASIL PRODUK SCALE-UP
Exhibition Booth WPC TKKS



PUBLIKASI INTERNASIONAL



PATEN Sederhana



"DARI LIMBAH SAWIT MENJADI SOLUSI KONSTRUKSI MASA DEPAN"

Pemanfaatan TKKS menjadi WPC menghasilkan nilai tambah biomassa sawit sekaligus mendukung ekonomi sirkular.

15

PRODUKSI HIDROGEL BERBASIS SELULOSA MIKROKRISTALIN DAN KARBOKSILMETIL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK APLIKASI BIOWRAPPING DAN ABSORBENT PAD

Peneliti: Susi, Makhmudun Ainuri, Wagiman, Mohammad Affan Fajar Falah, Hisyam Musthafa Al Hakim

Eksplorasi hidrogel yang terbuat dari turunan selulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), masih terbatas, oleh karena itu kajian secara kontinyu dilakukan sampai batas yang memadai pada aplikasinya. Di sisi lain, selama bertahun-tahun, akrilat dan turunannya sering dipilih sebagai bahan baku untuk membentuk hidrogel, dan meningkatnya permintaan untuk material ramah lingkungan menyebabkan pergeseran dari polimer buatan ke alami. Diperlukan karakteristik hidrogel berbasis selulosa (Cellulose based Hydrogels-CBH) dengan kemampuan penyerapan air yang baik dan mampu mempertahankan kekuatan mekaniknya pada saat digunakan sebagai biowrapping. Sebagai komponen kemasan selain mampu mempertahankan kualitas produk dengan baik, juga harus aman, tidak berpeluang terjadi migrasi kemikal. Hidrogel film komposit turunan selulosa juga dikembangkan untuk keperluan absorbent pada produk segar yang mudah mengalami leaching seperti pada produk ikan, maupun daging. Produk tersebut akan mengeluarkan eksudat cairan, absorbent pad yang memuat komponen hidrogel dapat menjadi alas wadah produk untuk menyerap kelebihan cairan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) mendapatkan hidrogel berbasis turunan selulosa TKKS, baik CMC maupun MCC, dengan crosslinker asam sitrat yang memiliki elastisitas yang sesuai untuk aplikasi biowrapping dan absorbent pad; 2) menguji aplikasi hidrogel sebagai biowrapping maupun absorbent pad pada beberapa produk segar buah, ikan, dan daging.

Reformulasi hidrogel film untuk plastisitas wrapping diperoleh dengan konsentrasi CMC divariasikan dengan konsentrasi 3%, 4% dan 5%, untuk meningkatkan kekuatan hidrogel film. CMC merupakan penyangga dalam bio hidrogel, dalam mengatur plastisitas maka dilakukan formulasi konsentrasi gliserol, konsentrasi MCC, penambahan asam asetat sebagai substitusi karboksilat dari asam sitrat.

Pada CMC 4%, mampu menghasilkan hidrogel film dengan plastisitas dan elastisitas seimbang, tingkat swelling 287.90%, penyerapan air 218.91%, tensile strength 0.412 MPa, strain F max 32.15% dan WVTR 5.79×10^{-5} g/m².24jam. Sedangkan dengan memodifikasi rasio asam sitrat : asam asetat 1 : 1 akan diperoleh hidrogel film dengan tingkat absorpsi yang tinggi, yaitu 920.59%, penyerapan air 867.38%, dan masih mampu memerangkap kadar air di dalamnya.

Aplikasi hidrogel film sebagai biowrapping dilakukan dengan metode kering dan metode basah. Metode kering lebih mudah, namun hidrogel justru kehilangan kandungan airnya karena terpapar udara lingkungan, sehingga semakin lama semakin kehilangan elastisitasnya (kaku). Pada metode basah hidrogel, dilakukan pembasahan dan perlu ada pengeringan dengan RH rendah, namun tetap mampu mempertahankan kualitas produk segar apel dan jeruk karena memiliki karakteristik seperti lapisan plastik.

Absorbent pad diaplikasikan dengan menyisipkan film hidrogel sebagai alas untuk penyimpanan fillet daging ayam dan fillet ikan patin pada suhu uji 2°C–4°C. Absorbent pad mampu menyerap drip loss air dari matriks daging dan menjaga kelembapan lingkungan daging sehingga kesegaran fillet ayam dan ikan dapat dipertahankan. Pada fillet ayam, pada kondisi kontrol, drip loss sudah terjadi setelah 9 hari penyimpanan, dan penggunaan hidrogel film absorbent pad bisa memperpanjang umur simpan hingga 21 hari. Pada fillet ikan patin, kerusakan kontrol (tanpa absorbent pad) sudah mulai terjadi pada penyimpanan hari ke 6 sedangkan penggunaan absorbent pad mampu memperpanjang umur simpan hingga 15 hari. Absorbent pad aplikasi secara kering cocok untuk menyimpan produk segar yang mengalami drip loss.



PRODUKSI HIDROGEL BERBASIS SELULOSA MIKROKRISTALIN DAN KARBOKSILMETIL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK APLIKASI BIOWRAPPING DAN ABSORBENT PAD

NO KONTRAK : PRJ-70/DPKS/2023

Peneliti



Susi
sus_i_tip@ulm.ac.id
08115010305



Makmudun Anuri



Wagiman



Mohammad Affan
Fajar Falah



Hisyam Musthafa
Al Hakim

RUMUSAN MASALAH



Belum tersedia hidrogel dari TKKS yang difungsikan sebagai biowrapping dan absorbent pad

TUJUAN

1

Mendapatkan hidrogel berbasis turunan selulosa TKKS, baik CMC maupun MCC, dengan crosslinker asam nitrat yang memiliki elastisitas yang sesuai untuk aplikasi biowrapping dan absorbent pad;

2

Menguji aplikasi hidrogel sebagai biowrapping maupun absorbent pad pada beberapa produk segar buah, ikan, dan daging.

PROSES PRODUKSI HIDROGEL



CAPAIAN HASIL

KARAKTERISTIK HIDROGEL FILM BERBASIS CMC

Pada CMC 4%, mampu menghasilkan hidrogel film dengan plastisitas dan elastisitas seimbang, tingkat swelling 287,90%, penyerapan air 218,91%, tensile strength 0,412 (MPa), strain F max 32,15%, WTR 5,79 x 10⁻³ g/m²/24 jam.

Swelling (%)	Penyerapan air (%)	Tensile Strength (MPa)	Strain F max (%)	WTR (g/m ² /24 jam)
287.90	218.91	0.412	32.15	5,79 x 10 ⁻³

MODIFIKASI RASIO ASAM SITRAT : ASAM ASETAT 1:1

Akan diperoleh hidrogel film dengan tingkat absorpsi yang tinggi, yaitu 920,59%, penyerapan air 867,38%, dan masih mampu memerangkap kadar air di dalamnya.

Absorpsi (%)	Penyerapan Air (%)
920.59	867.38

APLIKASI BLOWRAPPING

Hidrogel film dapat digunakan sebagai biowrapping untuk memperpanjang kesegaran produk segar.

Edible Biodegradable Aman & Ramah Lingkungan Mengurangi Food Waste

APEL



JERUK



Kontrol



Dry-rt



Wet-rt



ABSORBENT PAD (PAD KERING)

Absorbent Pad + Hidrogel Film - Fillet Ayam



Absorbent Pad - Fillet Ayam



Absorbent Pad + Hidrogel Film - Fillet Ikan



Keunggulan & Manfaat



Memfaatkan limbah TKKS sebagai material nilai tambah tinggi



Ramah lingkungan, biodegradable, dan aman



Memperpanjang umur simpan produk segar secara signifikan



Mengurangi drip loss dan menjaga kualitas kesegaran

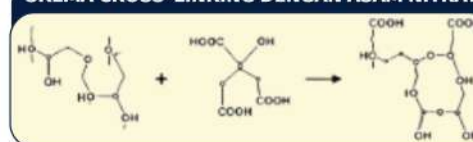


Potensi besar untuk aplikasi industri pangan dan non pangan

BAHAN BAKU: TANDAN KOSONG KELAPA SAKIT (TKKS)



SKEMA CROSS-LINKING DENGAN ASAM NITRAT



APLIKASI ABSORBENT PAD (PAD KERING)

Absorbent pad diaplikasikan dengan menyisipkan film hidrogel sebagai alas untuk penyimpanan fillet daging ayam dan fillet ikan patin pada suhu uji 2°C-4°C. Absorbent pad mampu menyerap drip loss air dari matriks daging dan menjaga kelembapan lingkungan daging sehingga kesegaran fillet ayam dan ikan dapat dipertahankan.

FILLET IKAN PATIN (2°C-4°C)

Absorbent Pad



Umur simpan hingga 15 hari

Kontrol



Drip loss terjadi setelah 6 hari

FILLET AYAM (2°C-4°C)

Absorbent Pad



Umur simpan hingga 21 hari

Kontrol



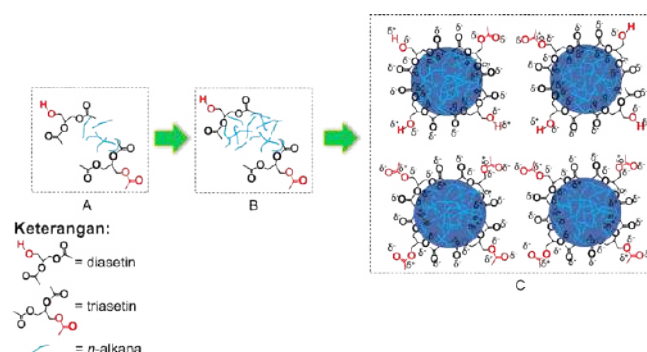
Drip loss terjadi setelah 9 hari

16

PENGEMBANGAN PENGGUNAAN GLISEROL DARI LIMBAH PRODUKSI BIODIESEL MENJADI BIOADITIF ASETIN SEBAGAI PENINGKAT FLUIDITAS BIODIESEL

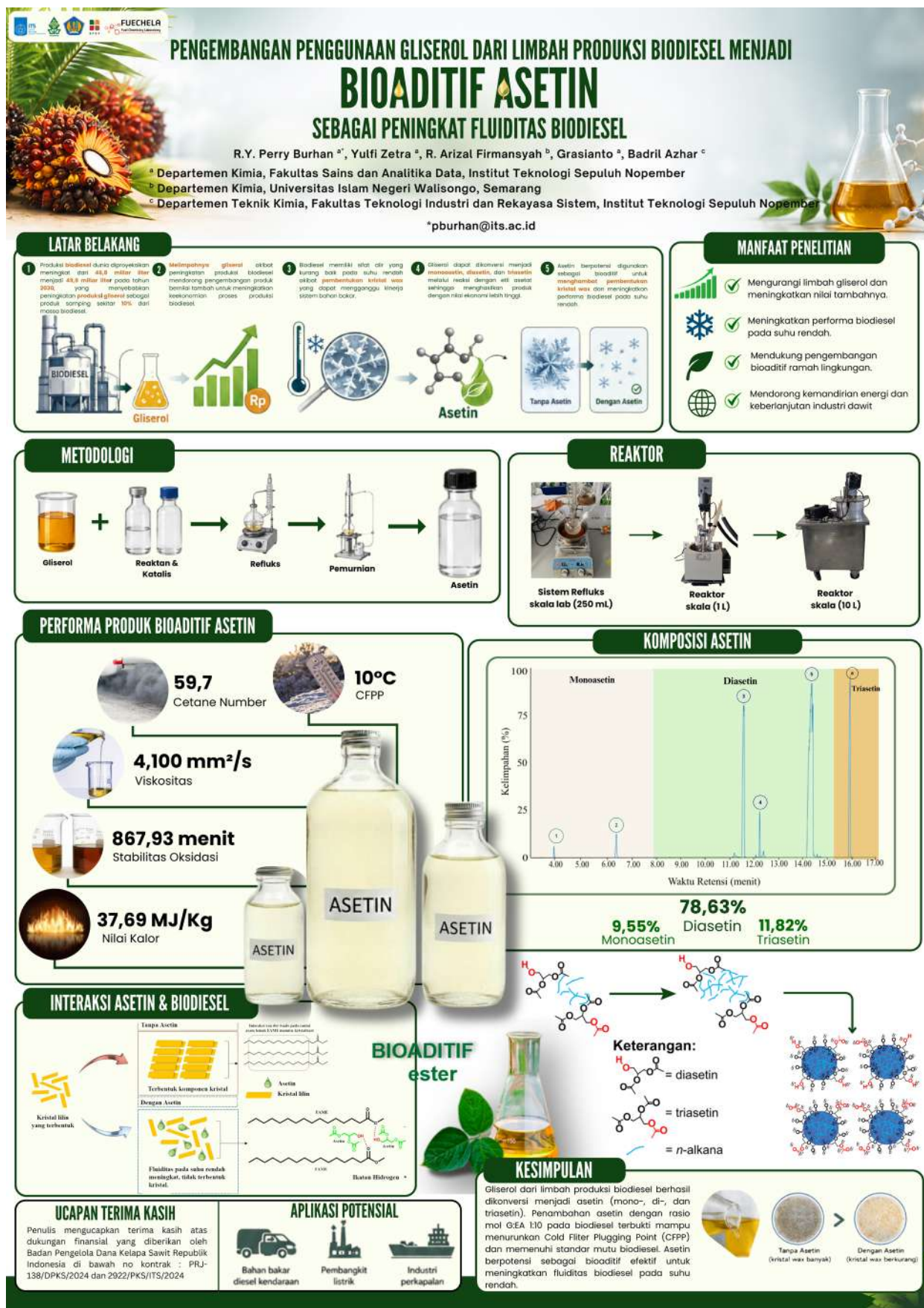
Peneliti: R.Y. Perry Burhan, Yulfi Zetra, R. Arizal Firmansyah, Grasiyanto, Badril Azhar.

Peningkatan kebutuhan energi dan kepedulian terhadap lingkungan telah mendorong pertumbuhan eksponensial produksi biodiesel secara global. Pertumbuhan ini menimbulkan tantangan yang signifikan, terutama pengelolaan produk samping seperti gliserol dan masalah kualitas biodiesel itu sendiri. Melimpahnya produk samping gliserol menimbulkan beban ekonomi dan lingkungan, sementara sifat fluiditas yang buruk menghambat kinerja dan stabilitas penyimpanan biodiesel. Respon terhadap tantangan tersebut, berbagai pendekatan alternatif telah dieksplorasi, termasuk sintesis aseton dari gliserol hasil samping pembuatan biodiesel. Sintesis aseton merupakan upaya inovatif untuk mengurangi dampak lingkungan dari kelebihan gliserol sebagai produk samping, dan aseton hasil pengembangan gliserol berpotensi memperbaiki sifat fluiditas bahan bakar biodiesel. Sintesis aseton dilakukan pada skala lab (250 mL) kemudian diperluas menjadi skala batch (1L) dan kemudian dilakukan sintesis pada skala pilot (10L). Produk yang dihasilkan berupa cairan bening dengan komponen diasetin >75%, sehingga memenuhi karakteristik bioaditif untuk diaplikasikan pada bahan bakar biodiesel mesin kendaraan bergerak seperti mobil dan mesin diam seperti mesin pembangkit. Aplikasi pada biodiesel B-100 menunjukkan bahwa penambahan aseton mampu menghasilkan angka setana sebesar 59,7, mampu mempertahankan kestabilan penyimpanan tanpa merusak wadahnya hingga 867,93 menit. Selain itu, penggunaan aseton mampu menurunkan nilai Cold Filter Plugging Point (CFPP) sampai pada suhu 10oC yang menunjukkan peningkatan performa biodiesel pada kondisi suhu rendah yang sangat baik. Interaksi aseton dengan biodiesel mampu mengurangi pembentukan kristal wax sehingga sifat alir biodiesel meningkat.



Gambar Interaksi Aseton dengan Biodiesel

Dampak lain yang diberikan produk bioaditif adalah telah merubah hasil samping biodiesel menjadi bahan aditif untuk biodiesel itu sendiri, dan juga meningkatkan nilai ekonomi gliserol melalui pengembangan bioaditif yang ramah lingkungan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aseton berpotensi menjadi bioaditif alternatif yang mendukung peningkatan kualitas, keberlanjutan, dan daya saing biodiesel sebagai bahan bakar terbarukan.



17

Pengembangan Komposit Campuran (Hybrid) Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Serat Gelas yang Diperkuat Poliester untuk Aplikasi Material Plafon Rumah.

Peneliti: Ahmad Zubair Sultan, S.T., M.T., Ph.D. dan tim peneliti.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan material plafon rumah berbasis komposit natural yang memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan serat gelas (glass fiber) dengan matriks poliester. Pemanfaatan TKKS dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah limbah industri kelapa sawit sekaligus menghasilkan material plafon yang lebih murah, kuat, tahan lama, dan ramah lingkungan.

Tujuan Penelitian

Penelitian difokuskan pada:

1. Penerapan komposit campuran serat TKKS dan serat gelas sebagai material teknik sipil.
2. Pembuatan produk plafon rumah alternatif pengganti tripleks, gipsum, dan asbes.

Metode Penelitian

Serat TKKS mengalami proses pembersihan, pengeringan, serta perlakuan kimia menggunakan larutan NaOH 6% untuk membersihkan serat dari kotoran sehingga dapat meningkatkan daya rekat dengan resin. Komposit dibuat menggunakan metode press molding dan Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) dengan perbandingan serat TKKS dan serat gelas sebesar 60:40. Spesimen kemudian diuji menggunakan standar ASTM untuk pengujian tarik, lentur, dan dampak.

Selain kondisi normal, material juga diuji setelah mengalami:

- Pemanasan.
- Perendaman air.
- Kombinasi pemanasan dan perendaman.

Hasil Penelitian

1. Kekuatan Tarik

Komposit TKKS-Glass menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi dibandingkan material plafon lain seperti tripleks, gipsum, asbes, dan PVC, baik pada kondisi normal maupun setelah perlakuan panas dan perendaman.

2. Kekuatan Lentur

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan lentur komposit TKKS-Glass lebih tinggi dibandingkan empat material pembanding pada seluruh kondisi pengujian.

3. Kekuatan Impak

Komposit TKKS-Glass memiliki ketahanan impact terbaik dibandingkan asbes, gipsum, tripleks, dan PVC, bahkan setelah mengalami perlakuan panas maupun perendaman.

4. Analisis Struktur Mikro (SEM)

Pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) menunjukkan bahwa ikatan antara serat TKKS, serat gelas, dan resin berlangsung homogen. Setelah perlakuan panas maupun perendaman, struktur komposit masih relatif stabil dan tidak mengalami kerusakan signifikan, berbeda dengan tripleks dan PVC yang mengalami degradasi lebih besar.

5. Analisis Komposisi Unsur (EDS)

Analisis EDS menunjukkan bahwa perlakuan panas dan perendaman mempengaruhi komposisi unsur material. Namun, komposit TKKS-Glass tetap mempertahankan kestabilan struktur yang lebih baik dibandingkan material pembanding.

Analisis Ekonomi

Estimasi biaya produksi komposit plafon berbasis TKKS berkisar antara Rp1.900–3.400/kg, dengan harga pokok produksi sekitar Rp9.500–17.000 per lembar. Harga jual yang diperkirakan sebesar Rp20.000–30.000 per lembar, sehingga berpotensi lebih kompetitif dibandingkan tripleks, gipsum, dan PVC.

Luaran Penelitian

Penelitian ini menghasilkan:

1. Prototipe plafon komposit TKKS-Glass berukuran 100 cm × 50 cm × 0,5 cm.
2. Publikasi pada jurnal internasional bereputasi.
3. Paten sederhana atas produk yang dikembangkan.



Tim Riset
Ahmad, S.T., M.T., Ph.D. (PNUP (Ketua)
(082291995575)
Ahmad Zubair Sultan, S.T., M.T., Ph.D. (PNUP)
Rusdi Nur, S.T., M.T., Ph.D. (PNUP)
Dr. Dwi Gustiono, S.Si, M.Eng. (BRIN)
Ir. Seto Roseno B, Eng (Hon), M.Sc. (BRIN)
Drs. Saeful Rahman, M.T. (BRIN)

PENGEMBANGAN KOMPOSIT CAMPURAN (HYBRID) SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DAN GLASS YANG DIPERKUAT POLIESTER UNTUK APLIKASI PLAFON

Grant Riset Sawit No. Kontrak : PRJ-69 /DPKS 2023

Pendahuluan

Plafon Komposit TKKS Glass merupakan diversifikasi produk pemanfaatan TKKS dalam bentuk serat lignoselulosa yang telah dihasilkan pada penelitian ini. Karya inovasi plafon komposit TKKS Glass yang didanai BPD PDKS membuktikan secara ilmiah bahwa penambahan serat TKKS pada polimer (biokomposit) dengan konsentrasi optimum dapat meningkatkan kekuatan mekanis lebih tinggi dari plafon yang biasa digunakan di struktur sipil seperti tripleks, gips, asbes dan PVC sehingga TKKS dapat ditingkatkan nilai tambahnya karena selama ini banyak diolah secara tradisional hanya menjadi pupuk kompos di perkebunan kelapa sawit, serabut sawit yang setiap tahunnya menghasilkan per hektar sebanyak ±23.3 ton limbah sawit sangat berpeluang untuk bisa dimanfaatkan sebagian untuk produk plafon TKKS Glass yang dapat mendukung kebijakan industri Indonesia yang telah merumuskan strategi di bidang riset material maju nasional yang sampai pada produk scale up industri untuk kemandirian teknologi hilir dan bahan baku.



Gambar 1. Pengambilan serat dari TKKS (a), Prototipe alat pembuatan panel komposit dengan metode penekanan (b) dan plafon panel komposit hasil cetak (c)

Metode Penelitian

Penelitian komposit *hybrid* Serat TKKS-Glass dengan menggunakan dua metode pembuatan ini yakni metode pres dan metode vakum dapat membuktikan bahwa dengan metode pres mampu meningkatkan nilai kekuatan mekanik seperti kekuatan tarik, lentur dan dampak dibandingkan dengan metode vakum. Dari segi estetika memperlihatkan pula metode pres menghasilkan permukaan yang sangat rata dibanding metode vakum yang menghasilkan permukaan yang tidak rata (bergelombang). Serat TKKS yang *di hybrid* dengan serat glass dengan komposisi 40% : 60% resin mampu meningkatkan kekuatan mekanik seperti kekuatan tarik, lentur dan dampak setelah dilakukan 2 perlakuan yaitu uji *immersion* (perendaman) dan uji pemanasan.

Hasil dan Diskusi

1. Prototipe Alat Cetak Komposit

Untuk mencetak komposit TKKS-Glass dengan metode Press dengan ukuran hasil komposit Serat TKKS-Glass dengan dimensi 100x 50 mm dengan maksimum ketebalan 4 mm

2. Prototipe Plafon Berbahan Komposit TKKS-Glass

Komposit TKKS-Glass yang dihasilkan merupakan salah satu alternatif pilihan bahan Plafon rumah yang tahan air dan tahan panas dengan kekuatan mekanik lebih besar dari bahan plafon yang sering digunakan dengan seperti, Tripleks, Gypsum, Asbes dan PVC. Kekuatan lentur 56 N/mm² sedangkan bahan plafon yang lain hanya berkisar 31 N/mm²



Gambar 2. Hasil Pengujian SEM beberapa material plafon

Untuk pengujian SEM diperoleh hasil untuk material yang belum mengalami perlakuan. Gambar 4.2.1 material Tripleks pembesaran 50X, terlihat sekelompok mikro serat kayu dalam tripleks tersebut tidak tersebar dalam matrik komposit, melainkan mikro serat masih berkumpul tanpa ikatan resin, sedangkan serat kayunya secara keseluruhan tersebar baik dalam matrik polimer (lem) yang digunakan. Gambar 4.2.2, Gypsum pembesaran 1000X, terlihat sebagian besar serat tersebar merata dan mengisi seluruh ruang komposit, komposit demikian secara teoritik sangat baik. Gambar 4.2.3. asbes pada pembesaran 500 kali, nampak serat tersebar merata dengan baik, namun matrik yang digunakan sangat banyak volumenya, ini akan membentuk komposit menjadi lebih rigid.

Acknowledgments

Dukungan pendanaan dari BPD PDKS melalui Grant Riset Sawit No. Kontrak : PRJ-69 /DPKS 2023 sangat kami apresiasi. Begitu juga kerjasama yang baik dari Tim BRIN

Gambar 4.2.4 Serat TKKS pada pembesaran 100 kali, terlihat bahwa permukaan serat sudah kasar, mungkin ini pengaruh *NaOH treatment*, dimana kulit luar yang licin sudah mengelupas bahkan kumpulan mikro seratnya sudah terlihat jelas, hal ini sudah cukup baik untuk digunakan dalam komposit polimer, nampak pula bahwa serat TKKS ini terlihat besar dengan diameter rata rata lebih dari 100 µm. Gambar 4.2.5. patahan Komposit Serat TKKS pada pembesaran 100 kali setelah uji tarik, dan juga pada Gambar 4.2.6. Patahan Komposit Serat TKKS pada pembesaran 100 kali setelah uji bending. Pada patahan komposit tersebut terlihat putus serat menandakan ikatan serat dengan resin cukup baik, namun juga masih banyak lubang-lubang pada resinnya, yaitu bekas ikatan dengan serat, disini nampak juga Sebagian bahwa serat tidak kuat ikatannya dengan resinnya, masih ada serat yang tidak kuat ikatan dengan resinnya. Gambar 4.2.7 pada SEM patahan Komposit Serat TKKS pada pembesaran 100 kali setelah Uji Impak, terlihat banyak serat yang terputus pada permukaan patahan uji Impak, hal ini menunjukkan bahwa sifat penguat (*reinforcement*) dari serat TKKS ini dalam komposit berfungsi dengan baik, maka secara mekanik serat ini bisa dimanfaatkan sebagai penguat pada komposit polimer.

Komposit tanpa perlakuan (a, b, c) memiliki kekuatan mekanik yang bergantung pada kualitas ikatan antara matriks dan serat. Pemanasan berlebihan (d, e, f), bisa menyebabkan degradasi pada serat atau matriks; yang akan menurunkan kekuatan komposit. Perendaman (g,h,i) dalam air mempengaruhi ikatan matriks-serat. Kelembaban dapat menyebabkan degradasi pada matriks polimerik, mengurangi kekuatan mekanik komposit. Beberapa matriks komposit dapat menyerap air dan mengalami pembengkakan (*swelling*), yang dapat menyebabkan keretakan atau penurunan kekuatan. Pemanasan setelah perendaman (m,n,o) dapat membantu menguapkan kelembaban yang terserap dalam komposit, menjaga kekuatan material lebih stabil. Perlakuan ini juga bisa memulihkan sebagian sifat mekanik komposit, terutama jika kelembaban yang terserap dapat dikeluarkan dengan pemanasan. Namun, jika perendaman dilakukan setelah pemanasan (j,k,l), kelembaban yang terserap dapat menurunkan kekuatan komposit yang sudah diproses dengan pemanasan.



ombinasi dari kedua perlakuan ini, jika tidak diatur dengan baik, dapat menyebabkan degradasi yang lebih besar pada komposit dibandingkan jika hanya diberi satu perlakuan saja.

Kesimpulan

Prototipe plafon komposit serat TKKS Glass yang dihasilkan berupa lembaran plafon dengan ukuran 100 x 50 x 4 cm. Dengan kadar air dan minyak serat TKKS yang digunakan setelah dibersihkan dengan NaOH kemudian dikeringkan masing-masing 6.06% dan 1.44%. dari sebelumnya 40% kadar air dan 3% kadar minyaknya.

18

PENGEMBANGAN MATERIAL BIOCOMPOSITE FOAMED CONCRETE BERBASIS SERBUK TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DAN ABU BOILER PABRIK KELAPA SAWIT (AB PKS) DAN APLIKASINYA UNTUK MEDIAN JALAN TEMPORER

Peneliti: Bustami Syam dan tim peneliti.

Penelitian yang diketuai oleh Prof. Dr. Ir. Bustami Syam, MSME (Universitas Sumatera Utara) bekerjasama dengan BPDP ini berhasil mengeksplorasi potensi hilirisasi limbah padat kelapa sawit melalui pengembangan inovasi material Biocomposite Foamed Concrete (BFC) berbasis serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit (AB PKS) dan Fly Ash sebagai substitusi parsial semen dan agregat konvensional demi mewujudkan infrastruktur jalan ramah lingkungan yang berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengujian mekanis pada Tahun I, formulasi mortar Engineered Cementitious Composite (ECC) optimal kelompok C10-10 (10% Fly Ash dan 10% AB PKS) mampu menghasilkan kuat tekan maksimum yang mencapai 44,63 MPa, sementara integrasi 25% serbuk serat TKKS pada beton busa (BFC C10-10-25) menghasilkan kuat tekan sebesar 3,29 MPa yang memenuhi standar SNI 03-0349-1989 untuk aplikasi non-struktural disertai peningkatan daktilitas dan kekuatan tarik belah yang konsisten hingga 0,654 MPa berkat efek penyerapan energi mikro-seluler serat organik, serta teruji tangguh menahan tegangan insiden beban dampak dinamis tinggi (hingga 24,1 MPa) menggunakan Air Gun Compressor (AGC). Analisis mikrostruktur Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive X-Ray (EDX) memperlihatkan distribusi material pozzolanik yang merata dengan dominasi unsur Kalsium sebesar 22,6% dan Silika sebesar 6% yang memperkuat ikatan matriks beton busa ini.

Ditinjau dari aspek kelayakan ekonomi dan manufaktur pada stasiun produksi skala mini plant, Harga Pokok Produksi (HPP) BFC diestimasi sebesar Rp2.000.750,- per m³, yang mana sangat kompetitif dan prospektif karena mampu mereduksi berat total komponen hingga 80% (menghasilkan bobot median jalan hanya 150–250 kg dibandingkan beton konvensional seberat 500–800 kg), sehingga menawarkan keunggulan produk yang ergonomis, temporer, mudah dimobilisasi, serta dapat diinstalasi secara manual tanpa alat berat dengan potensi keuntungan komersial yang tinggi melalui harga jual Rp625.000,- per unit untuk tipe kotak dan Rp750.000,- per unit untuk tipe tabung, dengan proyeksi Break-Even Point (BEP) yang sangat cepat dalam jangka waktu 9,1 bulan. Melalui capaian penting ini, keberlanjutan riset pada Tahap II akan difokuskan pada manufaktur cetakan baja komersial berskala industri dan penyempurnaan prototipe fisik median jalan secara utuh guna mematangkan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT/TRL) skala 8 menuju komersialisasi massal di sektor industri hilir sawit nasional

PEKAN RISET SAWIT INDONESIA 2026

BIOCOMPOSITE FOAMED CONCRETE (BFC)

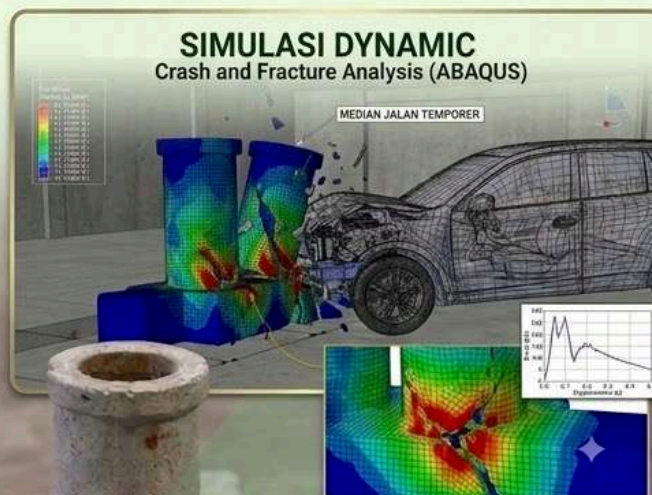
Pengembangan Material Biocomposite Foamed Concrete Berbasis Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit (AB PKS) dan Aplikasinya untuk Median Jalan Temporer

TIM PENELITIAN & BIDANG



- Prof. Dr. Ir. Bustami Syam, MSME (USU)
- Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Eng., IPU., ASEAN.Eng. (USK)
- Ir. Muhammad Aswin, ST., MT., Ph.D (USK)
- Prof. Dr. Ing. Ir. Johannes Tarigan (USU)
- Maraghi Muttaqin, ST., MT (USU)

BIDANG PENELITIAN:
BIOMATERIAL & OLEOKIMIA



MATERIAL SUMBER



LIMBAH TKKS
(SERBUK)



LIMBAH ABU
BOILER & FLY ASH



MIX DESIGN &
FOAMING AGENT



HASIL BFC
OPTIMAL

HASIL UTAMA (TAHUN I) & ANALISIS EKONOMI



KUAT TEKAN MORTAR ECC:
44.63 MPa



KUAT TEKAN BFC:
3.29 MPa (SNI)



KUAT TARIK BELAH:
0.654 MPa



KETAHANAN IMPAK AGC
TINGGI



HPP BFC:
Rp2.000.750/m³



ROI PERIOD:
9.1 BULAN



HARGA JUAL:
Rp625K (KOTAK) /
Rp750K (TABUNG)



UNIVERSITAS
SUMATERA UTARA
(USU)



BPDP

KERJASAMA RISET
STRATEGIS



KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

LAHAN, TANAH BIBIT, DAN BUDIDAYA

19

SAFIRA: SAWIT EFISIEN HARA

Peneliti: Sri Wening⁽¹⁾, Retno Diah Setiowati⁽¹⁾, Ikhwani Fadli Pangaribuan⁽¹⁾, Dian Rahma Pratiwi⁽¹⁾, Eko Noviandi Ginting⁽¹⁾, Tri Rini Nuringtyas⁽²⁾

1. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, PT Riset Perkebunan Nusantara
2. Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada

Pemupukan merupakan salah satu komponen biaya pada budidaya kelapa sawit yang cukup besar, namun merupakan faktor penting yang menentukan produktivitas tanaman. Di sisi lain, tidak semua pupuk yang diberikan akan diserap oleh tanaman, karena akan tercuci oleh air hujan atau menguap. Sementara itu, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dapat memberikan dampak buruk terhadap kelestarian lingkungan. Bahan tanaman kelapa sawit yang mampu memanfaatkan hara secara efisien, akan berdampak pada penghematan biaya pemupukan dan terjaganya kesehatan tanah. Nitrogen dan kalium merupakan dua unsur hara makro utama dalam budidaya kelapa sawit. Untuk itu, pada penelitian ini akan diidentifikasi Safira, kelapa sawit yang efisien dalam menggunakan hara nitrogen atau kalium, dengan menggunakan teknik uji di pembibitan yang dipadukan dengan pendekatan molekuler. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mempelajari metabolisme kelapa sawit dalam penggunaan hara, serta untuk mendapatkan metode yang efektif dalam identifikasi tanaman kelapa sawit yang bersifat efisien dalam penggunaan hara nitrogen atau kalium. Penelitian dilakukan dengan melakukan analisis ekspresi gen kandidat melalui indikator fenotipik sampel tanaman yang diamati pada uji di pembibitan, serta konstruksi marka molekuler menggunakan sampel dari uji pembibitan tersebut.

Berdasarkan data morfologi dan fisiologi pada uji pembibitan, telah diidentifikasi purwarupa progeni yang efisien hara K atau efisien hara N. Hasil pengamatan pada delapan bulan setelah tanam (BST) menunjukkan bahwa Progeni 6 adalah purwarupa progeni efisien, dan Progeni 4 adalah yang tidak efisien terhadap penggunaan hara kalium.

Hasil pengamatan di pembibitan hingga sepuluh BST menunjukkan bahwa Progeni 6 dan Progeni 4 adalah purwarupa progeni yang efisien, dan Progeni 5 adalah yang tidak efisien terhadap cekaman kalium. Progeni 2 adalah purwarupa progeni yang efisien, dan Progeni 1 adalah yang tidak efisien terhadap penggunaan nitrogen. Metode yang dilakukan pada uji pembibitan tersebut dapat digunakan sebagai protokol dalam skrining bahan tanam untuk penentuan material genetik yang memiliki sifat efisien N atau K. Pada analisis metagenomik, diketahui bahwa fungsi komunitas bakteri pada media tanam Progeni 6 berhubungan dengan mekanisme penggunaan hara.

Analisis metabolit pada daun dan akar yang diberi cekaman N maupun K menunjukkan beberapa senyawa yang menjadi pembeda tanaman yang efisien dan inefisien N atau K. Senyawa-senyawa ini potensial digunakan sebagai biomarker kelapa sawit yang efisien N atau efisien K. Terdapat perbedaan transkrip pada beberapa gen pada sampel tanaman yang efisien dan inefisien N atau K, pada saat tercekam dan tidak tercekam N atau K. Berdasarkan analisis polimorfisme pada gen yang mengalami perbedaan transkrip gen tersebut, telah diidentifikasi purwarupa marka DNA terkait sifat efisien nitrogen, serta purwarupa marka DNA terkait sifat inefisien kalium.



SAFIRA: Sawit Efisien Hara

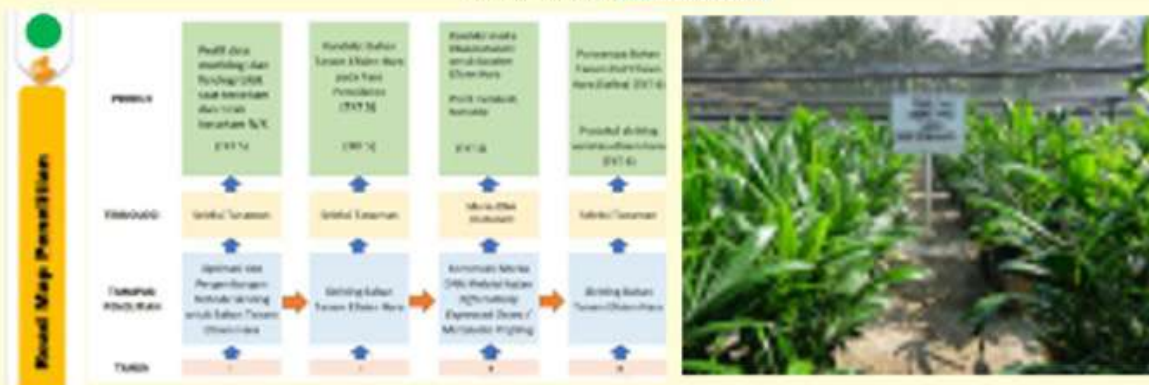
NOMOR KONTRAK: PRJ-362/DPKS/2022
ADDENDUM NO. PRJ-96/DPKS/2024
ADDENDUM NO. PRJ-207/DPKS/2024

Sri Wening^{1*}, Retno Diah Setiowati¹, Ikhwan Fadli Pangaribuan¹, Dian Rahma Pratiwi¹,
Eko Noviandi Ginting¹, Tri Rini Nuringtyas²

¹Pusat Penelitian Kelapa Sawit, PT Riset Perkebunan Nusantara

²Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada

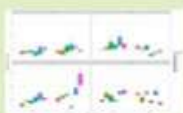
*Ketua Tim Peneliti; email: sriwening.srit@gmail.com



Capaian Hasil

Purwarupa Bahan Tanam Efisien Nitrogen & Purwarupa Bahan Tanam Efisien Kalium Berdasarkan Profil Data Morfologi & Fisiologi

Dari pengamatan morfologi dan fisiologi, telah terpilih Progeni 2 sebagai purwarupa bahan tanam efisien N; dan Progeni 6 dan 4 sebagai purwarupa bahan tanam efisien K (Pangaribuan et al., 2025; Setiowati et al., 2026)



Interaksi jenis pupuk (N), dosis pupuk (P) dan populasi (V) pada parameter efisiensi unsur hara kalium pada akar



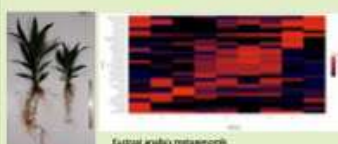
Interaksi jenis pupuk (N), dosis pupuk (P) dan populasi (V) pada parameter efisiensi unsur hara kalium pada akar

Protokol Bahan Tanam Efisien Nitrogen atau Kalium Berdasarkan Profil Data Morfologi dan Fisiologi



Selatrasi uji pendirian

Hasil Analisis Metagenomik: Keragaman Bakteri pada Media Tanam Progeni Efisien Penggunaan Kalium



Kontrol analisis metagenomik

Keragaman bakteri pada berbagai macam media tanam berhubungan dengan fungsi bakteri-bakteri tersebut terhadap penggunaan hara (Wening et al., 2024).

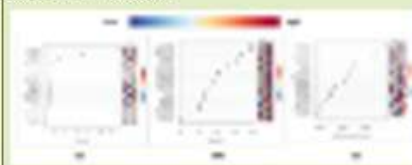
Data Profil Transkrip Gen

Kajian profil transkrip gen menunjukkan beberapa gen yang memiliki ekspresi berbeda pada tanaman yang efisien dan inefisien nitrogen atau kalium, saat mengalami cekaman dan tidak mengalami cekaman unsur-unsur hara tersebut.



Kontrol analisis transkrip gen

Data Metabolomik



Cluster analysis untuk identifikasi biomarker terkait efisiensi kalium menggunakan qPCR, PCA (qPCR) dan GC/MS/MS. Sumber: Setiowati et al. (2025)

Hasil menunjukkan beberapa kandidat biomarker untuk karakter efisien/inefisien kalium dan efisien/inefisien nitrogen.

Pengembangan Marka DNA



Kontrol kegiatan pada pengembangan marka DNA (genotipe primer dan genotyping)

Marka DNA telah dikembangkan dari informasi polimorfisme pada gen-gen terkait efisiensi terhadap nitrogen atau kalium, berdasarkan data profil transkrip gen. Telah diidentifikasi purwarupa marka DNA untuk karakter efisien nitrogen; serta untuk karakter inefisien kalium.

DAFTAR PUSTAKA:

- Pangaribuan, I. F., Setiowati, R. D., Wening, S., Pratiwi, D. R., Ginting, E. N., Mariani, C., & Dimpudis, E. (2022). Respon Morfologi Biji Kelapa Sawit Terhadap Fertilisasi Phospor. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 35(2), 105-120.
- Wening, S., Setiowati, R. D., Pratiwi, D. R., Pangaribuan, I. F., & Ginting, E. N. (2024). Biomarker diversity in oil palm genotypes associated with potassium use efficiency. *Biotechnology Journal of Bioprocess Engineering*, 20(3), 1389-1393.
- Setiowati, R. D., Wening, S., Pangaribuan, I. F., Rahayu, M. S., & Setiawan, S. (2023). Identification of metabolites for biomarker of nitrogen and potassium use efficiency in oil palm. *Akronika Perkebunan*, 30(2), 74-82.
- Setiowati, R. D., Wening, S., Pratiwi, D. R., Ginting, E. N., Pangaribuan, I. F., Setiawan, S., & Rahayu, M. S. (2024). Potassium efficiency in oil palm seedlings: does it matter? *SARAWAK Journal of Breeding and Genetics*, 58 (1) 488-497

20

PENGEMBANGAN REFERENSI PAN-GENOM DAN PENERAPAN ASSOCIATION STUDIES PADA KELAPA SAWIT (*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.) SEBAGAI PERCEPATAN RISET BIOTEKNOLOGI DAN PEMULIAAN KELAPA SAWIT DI INDONESIA

Peneliti: Redi Aditama, Heri Adriwan Siregar, Diny Dinarti, Sudarsono

Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas strategis bagi Indonesia karena berperan besar dalam penyediaan minyak nabati dunia dan perekonomian nasional. Namun, peningkatan produktivitas sawit masih menghadapi kendala berupa keterbatasan perluasan lahan, tekanan penyakit, serta perubahan iklim. Di sisi lain, siklus pemuliaan yang panjang serta sempitnya dasar genetik pada material komersial masih menjadi kendala dalam proses pemuliaan sawit. Sebagian besar riset pemuliaan dan genomik sawit saat ini masih bertumpu pada referensi genom linear tunggal dan penanda SNP, sehingga variasi genom yang lebih kompleks, seperti structural variation (SV), presence-absence variation (PAV), dan copy-number variation (CNV) belum sepenuhnya dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan referensi pan-genom sawit berbasis graf dan menerapkannya dalam association studies sebagai dasar percepatan riset bioteknologi dan pemuliaan sawit di Indonesia.

Referensi pan-genom dikembangkan menggunakan 30 rakitan genom sawit yang merepresentasikan aksesori liar, semi-domestik, dan komersial, dengan EG11 sebagai backbone referensi. Pendekatan ini menghasilkan pan-genom berbasis graf yang mampu menangkap keragaman struktural dan kandungan gen secara lebih luas dibandingkan referensi tunggal. Analisis menunjukkan adanya variasi struktural yang tersebar pada 16 kromosom, meliputi insersi, delesi, dan variasi terkait duplikasi. Analisis PAV mengelompokkan gen menjadi komponen core yang merepresentasikan fungsi dasar seluler, serta komponen shell dan unique yang berkaitan dengan regulasi, respons terhadap stres, dan pertahanan tanaman. Analisis resistance genes juga menunjukkan pola yang kontras dimana kelas RLK relatif stabil dan banyak terdapat pada kelompok core, sedangkan kelas NLR lebih dinamis dan banyak ditemukan pada kelompok shell.

Referensi pan-genom tersebut kemudian diterapkan dalam association studies menggunakan 384 aksesori kelapa sawit, yang mencakup populasi dura liar Afrika dari Kamerun dan Angola serta material DxP unggul. Pemetaan hasil short-read sequencing terhadap referensi pan-genom menghasilkan 32,8 juta varian, terdiri atas SNP, indel, dan multi-nucleotide polymorphism (MNP). Dari jumlah tersebut, 1.415.269 penanda berkualitas tinggi digunakan untuk association mapping pada karakter utama, yaitu rasio shell-to-fruit (SF), rachis length (RL), dan rasio oil-to-dry mesocarp (ODM). Analisis berhasil memulihkan lokus SHELL sebagai kontrol positif untuk SF sekaligus mengidentifikasi 24 lokus kandidat tambahan yang berpotensi memodulasi ketebalan cangkang. Pada karakter RL, asosiasi signifikan hanya terdeteksi pada panel MNP dan melibatkan kandidat gen yang berkaitan dengan receptor signaling, transpor gula, dan remodeling dinding sel. Sementara itu, ODM menunjukkan asosiasi signifikan pada panel SNP dan MNP, mengindikasikan bahwa kontribusi kelas varian terhadap karakter agronomis bersifat spesifik terhadap sifat yang dianalisis.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi referensi pan-genom berbasis graf dengan association studies mampu memperluas spektrum variasi genetik yang dapat dianalisis pada sawit. Pendekatan ini mengurangi bias referensi, meningkatkan resolusi deteksi varian, serta membuka peluang identifikasi lokus, gen, dan alel kandidat yang relevan untuk produktivitas, arsitektur tanaman, komposisi buah, ketahanan penyakit, dan adaptasi lingkungan. Referensi pan-genom dan hasil association studies ini menjadi fondasi penting bagi pengembangan seleksi berbasis marka, seleksi genomik, serta strategi pemuliaan presisi untuk mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan industri kelapa sawit di Indonesia.



Pengembangan Referensi Pan-Genom dan Penerapan Association Studies pada Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Redi Aditama, Heri Adriwan Siregar, Diny Dinarti, Sudarsono*
sudarsono_agh@apps.ipb.ac.id

PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026



PAN-GENOM
SAWIT
PERTAMA DI DUNIA



PAN-GWAS
SAWIT
PERTAMA DI DUNIA

1 LATAR BELAKANG



Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak nabati paling produktif di dunia. Peningkatan produktivitas dan ketahanan sawit memerlukan sumber daya genomik yang mampu menangkap keragaman genetik secara lebih utuh dibandingkan genom referensi tunggal.

2 KEBARUAN PENELITIAN



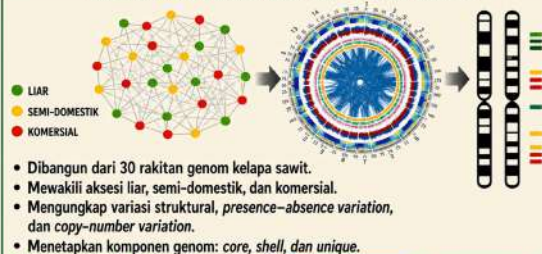
- Berhasil menyusun pan-genom sawit pertama di dunia
- Mengungkap keragaman genom dari aksesii liar, semi-domestik, dan komersial.
- Menjadi dasar penerapan pan-genome-wide association studies (pan-GWAS) pada sawit
- Membuka peluang identifikasi alel unggul untuk produktivitas, arsitektur tanaman, komposisi buah, dan ketahanan terhadap cekaman

3 PENELITIAN 1: PENGEMBANGAN REFERENSI PAN-GENOM

30 RAKITAN GENOM SAWIT



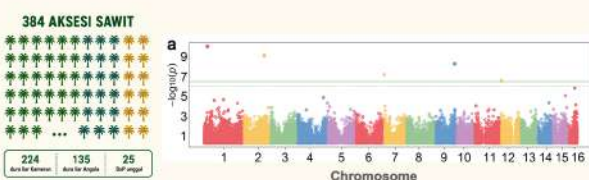
GRAFIK PAN-GENOM DAN KOMPONEN GENOM



33.716 gen teranalisis	25.531 core genes	7.552 shell genes 633 unique genes	318.744 varian struktural (SV50)
------------------------------	----------------------	---	---

Pan-genom menunjukkan bahwa keragaman genetik kelapa sawit jauh lebih luas daripada yang dapat ditangkap oleh satu genom referensi linear.

4 PENELITIAN 2: PENERAPAN PAN-GWAS



- Analisis dilakukan pada 384 aksesii sawit dan 35 karakter agronomis.
- Memanfaatkan referensi pan-genom untuk mengurangi bias referensi dan meningkatkan resolusi deteksi varian.
- Mengidentifikasi 32,8 juta varian genomik.
- Menghasilkan marka-marka potensial yang berkualitas



5 DAMPAK UNTUK RISET DAN PEMULIAAN



6 PESAN UTAMA

“Pan-genom pertama kelapa sawit di dunia dan penerapan pan-GWAS berbasis pan-genom menandai langkah penting menuju pemuliaan sawit yang lebih presisi, cepat, dan berbasis keragaman genom sesungguhnya.”

Kolaborasi:



Ucapan terima kasih:



Publikasi:

DNA Research, 2025
BMC Plant Biology, 2026
Scientific Reports, 2026
Journal of Oil Palm Research, 2026



21

Pengayaan Bahan Aktif Fungisida Organik Ganor untuk Meningkatkan Efikasinya Terhadap Ganoderma

Peneliti: Ciptadi Achmad Yusup, SP, M.Si dan tim peneliti

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan oleh *Ganoderma boninense* merupakan penyakit utama pada perkebunan kelapa sawit di Indonesia dan menimbulkan kerugian yang sangat besar. Beragam penelitian menunjukkan bahwa penyakit BPB merupakan penyakit yang kompleks, dengan demikian pengendalian penyakit BPB harus dilakukan secara menyeluruh dan terpadu. Saat ini diperlukan tindakan pengendalian secara kuratif yang ramah lingkungan untuk melengkapi tindakan pengendalian secara preventif yang sudah diimplementasikan. Salah satu tindakan kuratif yang ramah lingkungan adalah dengan aplikasi fungisida organik yang memiliki efek destruktif terhadap *G. boninense*.

Setelah melakukan serangkaian pengujian in vitro di laboratorium, bahan aktif yang terpilih untuk memperkaya fungisida organik (FO) Ganor adalah polifenol, selanjutnya disebut Ganor+. FO Ganor+ kemudian diuji secara in vivo pada bibit kelapa sawit yang telah diinokulasikan *G. boninense*. Setelah 10 bulan, bibit kelapa sawit yang diuji kemudian di belah pada bagian pangkal batangnya untuk mengamati tingkat pembusukan batang yang terjadi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa aplikasi FO Ganor+ mampu menurunkan tingkat pembusukan pangkal batang bibit kelapa sawit dari 49,68% pada kontrol positif menjadi 21,69 – 26,11% pada perlakuan Ganor+.

FO Ganor+ yang dikombinasikan dengan polifenol tersebut selanjutnya diformulasi menjadi larutan stabil yang setelah melewati masa simpan selama 1 tahun didalam wadah tidak tembus cahaya dan pada suhu ruang tidak menunjukkan penurunan efektivitas dalam menghambat koloni *G. boninense* secara in vitro. Analisis kandungan FO Ganor+ yang sudah disimpan selama 1 tahun tersebut tidak mengalami perubahan warna, kekentalan, bau maupun kandungan dibandingkan dengan pada saat pertama kali diproduksi.

Berdasarkan hasil pengujian in vivo pada bibit, dilakukan optimasi formulasi FO Ganor+ dengan meningkatkan konsentrasi polifenol menjadi 2%. Formulasi ini memiliki aktivitas antifungal yang lebih baik dan digunakan pada pengujian lapangan.

Penelitian tahun kedua berfokus pada pengujian multilokasi FO Ganor+ di lapangan. Lokasi pengujian dilakukan di empat lokasi yang memiliki jenis lahan mineral, sub-optimal, dan gambut. Lokasi tersebut berada di wilayah Jawa Barat yakni di Cimulang (lahan mineral) dan Cisalak Baru (lahan sub-optimal), dan di wilayah Sumatera Utara yakni di Gunung Bayu (lahan mineral) dan Labuhan Batu (lahan gambut). Terdapat 5 perlakuan yang diujikan termasuk kontrol, FO Ganor lama dan 3 konsentrasi FO Ganor+. Selain itu perlakuan dikombinasikan dengan dua interval aplikasi, yakni sebulan sekali dan 2 bulan sekali selama 6 bulan.

Hasil aplikasi di lapangan menunjukkan bahwa Aplikasi Ganor+ dengan dosis 6,4% pada tanaman kelapa sawit menghasilkan selama 6 bulan dengan volume aplikasi 100 ml/lubang (2 lubang/tanaman) mampu menurunkan keparahan penyakit BPB 24% hingga 47% dan menjadi perlakuan dengan hasil terbaik. Pengujian aktivitas enzim ligninolitik, yakni enzim lakase, mangan peroksidase (MnP) dan lignin peroksidase (LiP) dilakukan pada 3, 6 dan 9 BSA. Jaringan batang kelapa sawit yang diberi aplikasi Ganor+ memiliki aktivitas enzim ligninolitik dan kadar ergosterol yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Hasil pada 3 BSA menunjukkan bahwa jumlah enzim ligninolitik yang terdeteksi dari ekstrak jaringan pangkal batang tanaman yang diaplikasikan FO Ganor+ lebih rendah dibandingkan kontrol. Rendahnya jumlah enzim ligninolitik ini diduga berkorelasi dengan penurunan aktivitas metabolisme *G. boninense*. Meskipun demikian, masih terdapat faktor lain yang memengaruhi jumlah enzim ligninolitik seperti kondisi tanaman inang dan tingkat virulensi dari *G. boninense* itu sendiri.



Pengayaan Bahan Aktif Fungisida Organik Ganor untuk Meningkatkan Efikasinya Terhadap *Ganoderma*

Ciptadi Achmad Yusup*, Deden Dewantara Eris, Agustin Sri Mulyatni, Mahardika Gama Pradana, Happy Widiasuti

Pusat Penelitian Kelapa Sawit – PT. Riset Perkebunan Nusantara

*Ketua Peneliti: ciptadi.a.yusup@gmail.com

01 LATAR BELAKANG

Pengendalian *Ganoderma* saat ini berfokus pada kegiatan preventif. Diperlukan teknik pengendalian secara kuratif terutama untuk tanaman kelapa sawit yang sudah terserang penyakit busuk pangkal batang (BPB).

Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Unit Bogor telah mengembangkan fungisida organik berbasis aktif Organosulfur yang diberi nama **Ganor** sebagai solusi pengendalian *Ganoderma* secara kuratif.

Fungisida organik **Ganor** masih perlu ditingkatkan efikasinya dengan menambahkan bahan aktif yang memiliki *mode of action* yang berbeda.

Bahan aktif yang diujikan adalah Hesperidin, Rutin, dan Polifenol.

02 TUJUAN

Meningkatkan efikasi fungisida organik **Ganor** dalam mengendalikan *Ganoderma boninense* secara kuratif dengan memperkaya kandungan bahan aktifnya.

03 CAPAIAN HASIL

Uji Kompatibilitas Fungisida Organik Ganor dengan Bahan Aktif Pengaya*

Tingkat Penghambatan koloni <i>G. boninense</i>		Ganor (%)									
Hesperidin (%)		0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
83,2	83,2	83,2	75,3	73,5	77,7	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tingkat Penghambatan koloni <i>G. boninense</i>		Ganor (%)									
Rutin (%)		0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
82,8	78,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

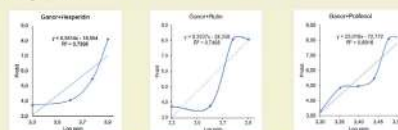
Tingkat Penghambatan koloni <i>G. boninense</i>		Ganor (%)									
Polifenol (%)		0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Kolom dengan warna yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf 95%.

Bioassay *in vitro* dan LC50 Fungisida Organik Ganor*



Hasil **Bavendamm Test** untuk masing-masing kombinasi tidak menunjukkan pertumbuhan miselium *G. boninense* ataupun zona merah sebagai tanda aktivitas enzim lignolitik.



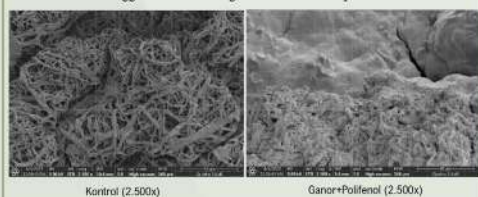
Nilai LC50 Ganor+Hesperidin = 0,389%; Ganor+Rutin = 0,343%; Ganor+Polifenol = 0,239%

Spray Test pada Koloni *G. boninense*



03 CAPAIAN HASIL

Karakterisasi Menggunakan *Scanning Electron Microscope*



Uji Multilokasi Prototipe Ganor* pada Skala Lapangan

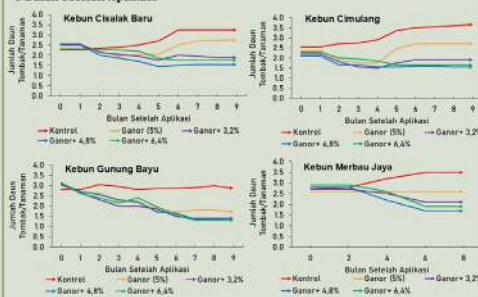


Pengaruh Aplikasi Ganor* terhadap Keparahan Penyakit BPB 9 Bulan Setelah Aplikasi

Keparahan Penyakit (%)		Aplikasi Ganor* 6,4% menurunkan keparahan penyakit BPB 24% - 47% di seluruh lokasi pengujian			
Perlakuan	Cisalak Baru	Cimulang Bayu	Gunung Bayu	Merbau Jaya	
Kontrol	53,24 a	51,39 a	48,15 a	42,96 a	
Ganor (5%)	37,96 ab	42,13 ab	36,11 b	44,44 ab	
Ganor+ 3,2%	40,28 ab	42,13 ab	37,03 ab	36,11 b	
Ganor+ 4,8%	34,72 b	38,81 b	37,03 ab	37,03 b	
Ganor+ 6,4%	34,72 b	38,81 b	33,33 b	33,33 b	

*Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan menurut uji Tukey pada taraf 95%.

Pengaruh Aplikasi Ganor* terhadap Jumlah Daun Tombak/Tanaman 9 Bulan Setelah Aplikasi



Bioassay *In Vivo* Ganor* pada Bibitan Kelapa Sawit

Pengaruh Aplikasi Ganor* terhadap Penyakit Busuk Pangkal Batang pada Bibit Kelapa Sawit 6 Bulan Setelah Aplikasi

Variabel Pengamatan*		Kontrol Negatif		
Perlakuan		Kejadian Penyakit (%)	Intensitas Penyakit (%)	Pembusukan Batang (%)
Kontrol Negatif		0 a	0 a	0 a
Ganor+ 1,6%		68,67 c	48,02 b	49,66 c
Ganor+ 2,5%		28,63 ab	21,95 ab	25,22 b
Ganor+ 0,8% (0,5n)		18,50 ab	12,63 a	21,67 b
Ganor+ 1,6% (n)		33,33 b	21,26 a	29,12 b
Ganor+ 2,4% (1,5n)		21,50 ab	13,19 a	22,31 b
Ganor+ 3,2% (2n)		22,17 ab	19,24 a	26,11 b

Variabel Pengamatan*		Kontrol Negatif		
Perlakuan		Tinggi Tanaman (cm)	Diameter Batang (mm)	Jumlah Daun
Stimulangun		39,78 a	13,49 a	6,78
540 NG		36,72 b	12,57 b	6,97

*Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan menurut uji Tukey pada taraf 95%.

Hasil Analisis Aktivitas Enzim Lignolitik Kebun Cisalak Baru

Perlakuan	Lakase (U/mL)			Mangan Peroksidase (U/mL)			Lignin Peroksidase (U/mL)		
	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*
Kontrol	591,26	548,17	545,91	419,95	457,83	397,15	2.343,19	2.075,86	2.287,93
Ganor (5%)	333,57	358,12	311,98	276,63	310,30	219,23	1.398,02	1.375,96	1.162,64
Ganor+ 3,2%	289,19	327,47	268,13	233,91	280,21	202,82	1.302,92	1.314,99	1.254,46
Ganor+ 4,8%	274,77	317,72	228,29	217,02	265,45	190,75	1.272,58	1.229,27	1.130,05
Ganor+ 6,4%	257,64	252,87	192,48	204,14	242,34	158,10	1.098,83	1.067,23	1.040,15

Hasil Analisis Aktivitas Enzim Lignolitik Kebun Cimulang

Perlakuan	Lakase (U/mL)			Mangan Peroksidase (U/mL)			Lignin Peroksidase (U/mL)		
	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*
Kontrol	434,80 a	406,33 a	450,84 a	514,23 a	508,18 a	451,07 a	1.714,49 a	1.828,19 a	1.875,00 a
Ganor (5%)	274,51 b	264,77 b	296,51 b	317,70 bc	315,01 bc	337,48 bc	1.179,79 b	1.308,03 b	1.123,42 bc
Ganor+ 3,2%	280,09 b	241,89 b	291,39 b	352,14 b	343,52 b	304,49 bc	1.142,49 b	1.204,21 b	1.103,43 bc
Ganor+ 4,8%	285,04 b	261,50 b	287,27 b	267,08 c	277,54 b	286,39 bc	1.123,77 b	1.167,30 b	1.058,16 bc
Ganor+ 6,4%	248,49 b	227,63 b	276,72 b	277,40 c	277,50 b	264,95 c	1.056,36 b	1.137,37 b	1.094,16 bc

Hasil Analisis Aktivitas Enzim Lignolitik Kebun Gunung Bayu

Perlakuan	Lakase (U/mL)			Mangan Peroksidase (U/mL)			Lignin Peroksidase (U/mL)		
	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*	3 BSA*	6 BSA*	9 BSA*
Kontrol	291,25 a	287,81 a	296,98 a	211,72 a	293,62 a	235,31 a	291,25 a	287,81 a	296,98 a
Ganor (5%)	233,61 b	227,63 b	203,69 b	171,11 b	220,73 b	188,77 b	233,61 b	227,63 b	211,69 b
Ganor+ 3,2%	186,24 bc	215,66 bc	203,63 bc	144,65 bc	199,84 bc	181,78 bc	196,24 bc	215,66 bc	203,63 bc
Ganor+ 4,8%	193,46 bc	190,97 bc	193,11 bc	140,87 bc	195,07 cd	153,81 bc	193,46 bc	190,97 bc	193,11 bc
Ganor+ 6,4%	187,97 c	170,52 c	179,01 c	127,29 c	166,88 c	171,01 c	187,97 c	170,52 c	179,01 c

Hasil Analisis Aktivitas Enzim Lignolitik Kebun Merbau Jaya

Perlakuan	Lakase (U/mL)		Mangan Peroksidase (U/mL)			Lignin Peroksidase (U/mL)			
	4 BSA*	6 BSA*	8 BSA*	4 BSA*	6 BSA*	8 BSA*	4 BSA*	6 BSA*	8 BSA*
Kontrol	368,84 a	409,24 a	372,97 a	444,20 a	471,93 a	458,73 a	1.624,85 a	1.777,35 a	1.713,71 a
Ganor (5%)	324,07 b	309,95 b	316,67 b	343,62 b	327,12 b	331,98 b	1.455,74 b	1.385,01 b	1.420,70 b
Ganor+ 3,2%	305,25 b	284,41 bc	284,46 bc	308,42 c	285,81 c	298,54 c	1.332,18 b	1.234,02 c	1.293,16 bc
Ganor+ 4,8%	284,96 bc	261,32 cd	257,41 cd	287,61 c	248,01 c	263,85 d	1.291,70 b	1.150,60 c	1.230,16 bc
Ganor+ 6,4%	265,82 c	244,46 d	245,19 d	233,53 d	220,84 d	225,78 d	1.187,57 d	1.002,99 d	1.064,68 d

*Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan menurut uji Tukey pada taraf 95%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh BPD PKS melalui Grant Riset Sawit (GRS) Tahun 2022 dengan nomor No. Kontrak : PRJ-361/DPKS/2022 dan Addendum No. : PRJ-64/DPKS/2024

22

SISTEM DETEKSI DINI JAMUR GANODERMA PADA TANAMAN KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN SISTEM RADAR SIL (SELF-INJECTION-LOCKED) PORTABLE

Peneliti: Rezki El Arif, Rachmad Setiawan, Eko Agus Suprayitno, Josaphat Pramudijanto, dan Nada Fitriyatul Hikmah

RAWIT (Radar Sawit) merupakan sistem deteksi dini penyakit busuk pangkal batang pada tanaman kelapa sawit yang disebabkan oleh jamur *Ganoderma boninense*. Penyakit ini merupakan salah satu ancaman utama bagi produktivitas perkebunan kelapa sawit karena dapat merusak jaringan internal tanaman sebelum gejala visual muncul. Oleh karena itu, diperlukan metode deteksi yang cepat, non-destruktif, dan mampu mengidentifikasi infeksi sejak tahap awal.

Penelitian ini mengembangkan dua metode deteksi, yaitu Vector Network Analyzer (VNA) dan Radar Portable. Metode VNA digunakan untuk mengukur karakteristik elektromagnetik jaringan tanaman, seperti konstanta dielektrik, konduktivitas, faktor disipasi, loss tangent, dan koefisien refleksi. Pengukuran dilakukan pada beberapa bagian tanaman, yaitu daun, pelepah, dan akar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanaman sehat memiliki nilai dielektrik dan konduktivitas yang lebih tinggi karena kondisi sel masih utuh dan kandungan air mencukupi. Sebaliknya, tanaman yang terinfeksi menunjukkan penurunan nilai parameter tersebut akibat kerusakan jaringan dan gangguan transportasi air. Sistem VNA berhasil membedakan tingkat infeksi *Ganoderma boninense* dengan akurasi mencapai 88%.

Metode kedua menggunakan Radar Portable yang bekerja berdasarkan pengukuran kandungan air pada batang kelapa sawit. Pengukuran dilakukan pada dua titik berbeda, yaitu area yang dekat dan jauh dari lokasi infeksi. Data radar dianalisis menggunakan parameter Mean Peak Frequency (MPF) yang diperoleh dari hasil transformasi FFT dan daya pantul sinyal radar. Tanaman sehat menunjukkan nilai MPF yang rendah dan stabil karena distribusi air di dalam jaringan masih normal.

Pada kondisi infeksi ringan, nilai MPF mulai meningkat akibat perubahan kelembapan dan kerusakan jaringan awal. Sementara itu, infeksi berat menghasilkan perubahan MPF yang signifikan karena kerusakan xylem yang mengganggu distribusi air di dalam batang. Metode radar mampu membedakan tiga tingkat kondisi tanaman, yaitu sehat, infeksi ringan, dan infeksi berat dengan akurasi mencapai 92%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi teknologi elektromagnetik berbasis VNA dan radar memiliki potensi besar sebagai sistem deteksi dini penyakit *Ganoderma boninense* pada kelapa sawit. Pendekatan ini menawarkan metode yang cepat, non-invasif, dan dapat diterapkan di lapangan untuk membantu pemantauan kesehatan tanaman secara lebih efektif. Dengan kemampuan mendeteksi perubahan karakteristik jaringan dan kandungan air sebelum gejala terlihat secara visual, sistem RAWIT berpotensi mendukung peningkatan produktivitas perkebunan serta mengurangi kerugian akibat serangan penyakit pada tanaman kelapa sawit.

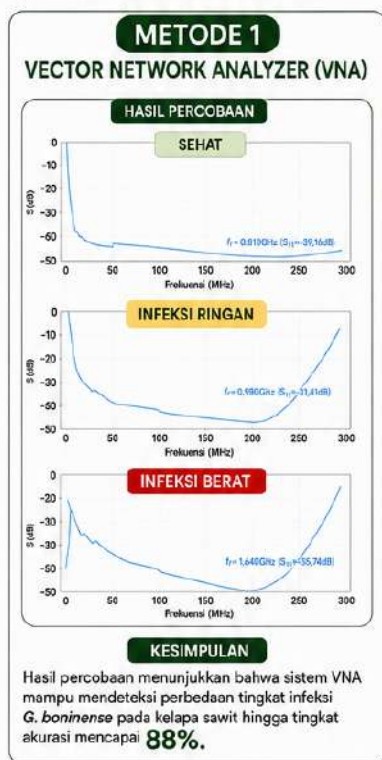
RAWIT

SISTEM DETEKSI DINI JAMUR GANODERMA PADA TANAMAN KELAPA SAWIT

RADAR SAWIT



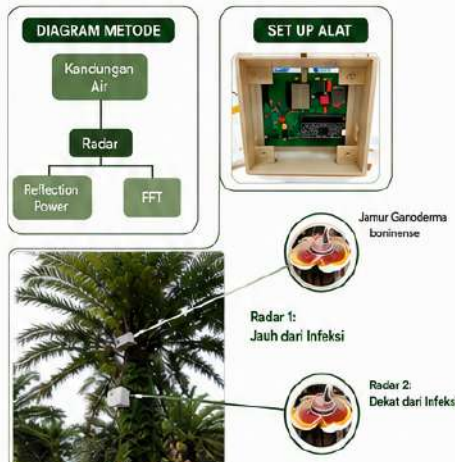
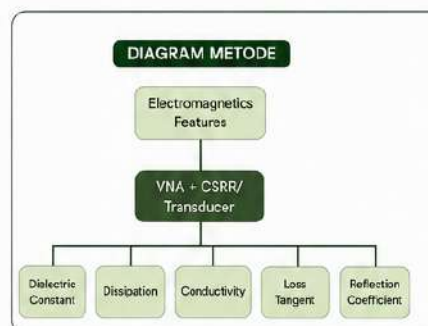
Jamur *Ganoderma boninense* dapat dideteksi dengan menggunakan 2 metode, yakni **VNA** dan **Radar Portable**. Metode VNA mengukur nilai kelistrikan pada bagian pohon kelapa sawit, sementara Radar mendeteksi kandungan air di 2 titik untuk mendeteksi kerusakan jaringan xylem pada batang.



Tanaman Sehat → Nilai dielektrik tinggi, konduktivitas tinggi, menandakan sel utuh, air cukup, energi tersimpan optimal.

Infeksi Ringan → Nilai mulai menurun menandakan sel mulai rusak, retensi air berkurang, aktivitas ion tidak stabil.

Infeksi Berat → Nilai terendah menandakan kehilangan air besar-besaran, jaringan sel rusak, transport air & ion terganggu.



PENELITI

Rezki El Arif
Rachmad Setiawan
Eko Agus Suprayitno

Josaphat Pramudijanto
Nada Fitriyatiul Hikmah

KONTAK

✉ rezki.arif@its.ac.id

23

PEMANFAATAN *TETRAGONA LAEVICEPS* SEBAGAI KOMPLEMEN PENYERBUK KELAPA SAWIT DALAM UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS DAN INTEGRASINYA UNTUK MENAMBAH PENDAPATAN PETANI SAWIT RAKYAT

Peneliti: Mahardika Gama Pradana, Tjut Ahmad Perdana Rozziansha, Ciptadi Achmad Yusup, Nadzirum Mubin, Windra Priawandiputra, Rika Raffiudin

Berbagai faktor mempengaruhi pembentukan fruit set buah kelapa sawit, salah satunya yaitu peran agen penyerbuk terutama dari kelompok serangga. Sampai saat ini, serangga *Elaeidobius kamerunicus* masih menjadi penyerbuk utama kelapa sawit di Indonesia. Selain serangga *E. kamerunicus* telah banyak dilaporkan keberadaan serangga lain yang juga berperan dalam penyerbukan bunga kelapa sawit, di antaranya yaitu beberapa spesies lebah yang menyerbuk bagian permukaan tandan buah. Salah satu jenis lebah yang dilaporkan menyerbuk tandan bunga kelapa sawit yaitu *Tetragonula laeviceps*. Lebah tanpa sengat *T. laeviceps* merupakan salah satu jenis lebah yang umum dibudidayakan untuk diambil produk seperti madu dan propolis yang memiliki nilai ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari pemanfaatan budidaya lebah *T. laeviceps* sebagai penyerbuk komplemen di areal perkebunan kelapa sawit dengan mengkaji potensi hasil samping lebah berupa madu.

Hasil penelitian menunjukkan potensi *T. laeviceps* sebagai serangga penyerbuk komplemen pada ekosistem perkebunan kelapa sawit. Lebah tanpa sengat ini terbukti mampu bertahan dan beraktivitas di areal kelapa sawit, meskipun kelapa sawit bukan satu-satunya sumber pakan yang dimanfaatkan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *T. laeviceps* aktif keluar-masuk koloni untuk mencari pakan sepanjang hari, dengan kecenderungan peningkatan aktivitas pada siang hari dan puncak aktivitas sekitar pukul 13.00.

Dari sisi perilaku kunjungan bunga, *T. laeviceps* teramati mengunjungi bunga kelapa sawit, baik bunga betina reseptif maupun bunga jantan antesis. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa lebah tanpa sengat tersebut tidak hanya hidup di sekitar areal sawit, tetapi juga berinteraksi langsung dengan organ reproduktif tanaman kelapa sawit.

Dengan ukuran tubuh yang kecil, *T. laeviceps* teramati berperan menyerbuki pada bagian luar tandan atau permukaan bunga, sehingga posisinya lebih tepat dipahami sebagai penyerbuk tambahan atau komplemen, bukan sebagai pengganti penyerbuk utama *Elaeidobius kamerunicus*.

Analisis polen yang dibawa oleh *T. laeviceps* menunjukkan bahwa lebah ini membawa polen kelapa sawit, meskipun proporsinya relatif rendah dibandingkan polen dari tanaman lain. Rata-rata komposisi polen kelapa sawit yang ditemukan adalah sekitar 14,22%. Hal ini mengindikasikan bahwa *T. laeviceps* memang memanfaatkan bunga kelapa sawit, tetapi tetap membutuhkan sumber pakan alternatif dari vegetasi lain di sekitar kebun. Dengan demikian, keberhasilan integrasi *T. laeviceps* di perkebunan kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh ketersediaan tanaman berbunga lain sebagai sumber nektar dan polen pendukung.

Hasil pengamatan terhadap fruit set memperlihatkan adanya indikasi bahwa keberadaan *T. laeviceps* dapat mendukung proses penyerbukan pada kelapa sawit, terutama sebagai penyerbuk komplemen dalam sistem penyerbukan yang sudah didominasi oleh *E. kamerunicus*. Analisis fruit set dilakukan menggunakan pendekatan sembilan kuadran pada tandan buah, dengan membandingkan perlakuan yang melibatkan *T. laeviceps* dan tanpa *T. laeviceps*. Secara umum, hasil ini memperkuat dugaan bahwa *T. laeviceps* dapat berkontribusi terhadap proses penyerbukan, walaupun kontribusinya masih perlu dikaji lebih lanjut secara kuantitatif dan dalam skala yang lebih luas.



PEMANFAATAN *Tetragonula laeviceps* SEBAGAI KOMPLEMEN PENYERBUK KELAPA SAWIT DALAM UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS DAN INTEGRASINYA UNTUK MENAMBAH PENDAPATAN PETANI SAWIT RAKYAT

GRANT RISET KS-2023 No: PRJ-77/DPKS/2023

Mahardika Gama Pradana¹, Ciptadi Achmad Yusup¹, Tjut Ahmad Perdana Rozziansha¹, Nadzirum Mubin², Windra Priawandiputra³, Rika Raffiudin³

¹Kelompok Peneliti Proteksi Tanaman, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor

³Departemen Biologi, FMIPA, IPB University, Bogor

- EKOLOGI**
- Memiliki ukuran yang "kecil" → daya jelajah menyerbuk yang tinggi
 - Mampu membantu penyerbukan pada beragam jenis tanaman
 - Mengunjungi beragam jenis bunga (polen-nektar) tanaman pangan, horti, hutan, dan perkebunan
 - Dilaporkan mengunjungi habitat kelapa sawit

- TUJUAN**
- Menguji efektivitas lebah tanpa sengat *T. laeviceps* sebagai komplemen penyerbuk sehingga berdampak terhadap peningkatan produktivitas kelapa sawit.
 - Memberikan penilaian terhadap budidaya *T. laeviceps* di areal kelapa sawit untuk menambah pendapatan petani rakyat.

- EKONOMI**
- Tahan terhadap gangguan serta tidak mengganggu aktifitas manusia meskipun sering ditemukan dalam permukiman.
 - Potensi dan nilai ekonomi produk → bee pollen (hingga 500.000/kg) propolis mentah (hingga 400.000/kg)
 - Nilai gizi produk lebah yang dihasilkan "lebih kaya" karena mengambil sumber nektar dari beragam jenis (multiflora)



HASIL PENELITIAN



Aktivitas menyerbuk *T. laeviceps* pada bunga betina kelapa sawit reseptif.



Analisis fruit set (f/s) pada tandan kelapa sawit menunjukkan bahwa bunga sawit yang diserbuki oleh *T. laeviceps* cenderung menghasilkan nilai f/s **lebih tinggi** dibandingkan area tanpa introduksi lebah.



Lokasi demplot pertama: Langkat, Sumatera Utara



Lokasi demplot kedua: Kolabumi, Prov. Lampung



Kontak korespondensi: mahardikagama@iopri.org | mahardikagama@gmail.com

24

iFovib_G, Robot Berbasis Teknologi Foton dan Vibrasi untuk Deteksi Dini dan Kuratif Serangan *Ganoderma boninense* pada Kelapa Sawit

Peneliti: Maya Shovitri⁽¹⁾, N. D. Kuswytasari⁽¹⁾, Tutik Nurhidayati⁽¹⁾, A.M.T. Nasution⁽¹⁾, Hendro Nurhadi⁽¹⁾, Mashuri⁽¹⁾, Muhamad Mustangin⁽²⁾, dan Galuh Banowati⁽²⁾

1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Politeknik LPP Yogyakarta

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengenali dan mengendalikan penyebaran jamur *Ganoderma boninense*, penyebab penyakit busuk pangkal batang pada kelapa sawit. Namun, hingga kini, belum ada metode yang terbukti efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi alternatif dengan mengembangkan prototipe robot iFovib_G yang inovatif, efektif, dan efisien, dengan memanfaatkan teknologi foton dan vibrasi. Teknologi ini dirancang sebagai pendekatan non-destruktif, cepat, dan praktis untuk digunakan di lapangan. Deteksi dini dilakukan menggunakan teknologi foton, untuk mengukur dan mengidentifikasi tanda khas *G. boninense* serta kondisi tanaman sawit yang terinfeksi. Sedangkan metode kurasi menggabungkan paparan UV-C dan getaran USG dengan induksi kitosan, guna menghambat pertumbuhan jamur.

Pada tahun pertama adalah proof of concept. Hasil menunjukkan bahwa *G. boninense* memiliki fingerprint spektral yang khas, sehingga memungkinkan identifikasi tanah perkebunan yang terkontaminasi atau bebas dari jamur. Spektrum tanah yang terkontaminasi cenderung tumpang tindih, sementara tanah yang tidak terkontaminasi menunjukkan spektrum yang sangat berbeda dari tanah yang terkontaminasi.

Selanjutnya, metode kurasi skala laboratorium dengan perlakuan kombinasi, yaitu penyinaran UV-C (240 W, 253,7 nm) selama 100 detik, getaran USG (40 kHz) selama 5 menit, dan penggunaan kitosan 0,5%, secara signifikan menghambat pertumbuhan koloni jamur *G. boninense* berdasarkan diameter koloni. Secara mikroskopis, juga terlihat bahwa miselium mengandung hifa yang rusak, melebar, pipih, berstruktur tidak beraturan, dan tampak ada hifa yang patah.

Pada tahun pertama, prototipe robot iFovib_G berhasil dirakit lengkap dengan sistem deteksi dini dan sistem kuratif. Bentuknya yang pentagonal menjadikannya sebagai wadah kitosan sekaligus alat USG, dengan satu lengan yang dapat bergerak kiri dan kanan untuk mengangkat probe foton. Prototipe ini dilengkapi empat roda dan berukuran P x L x T = 1670,89 mm x 960,00 mm x 862,17 mm. Selain itu, robot ini sudah diuji mampu mengikuti perintah remote control di skala lapangan rumah kaca dan telah memenuhi standar uji Level Kesiapan Teknologi (TRL) 3.

Pada tahun kedua, dilakukan revisi desain prototipe untuk meningkatkan ketangkasan di lahan perkebunan dan menonjolkan deteksi dini serangan *G. boninense*. Versi kedua lebih adaptif, dilengkapi roda tank, dan berukuran lebih kecil (P x L x T = 680 x 445 x 205 mm). Pengujian dilakukan di lahan PT Prime Agri Resources (SGRO), Palembang. Robot ini terbukti lincah dalam bergerak dan menjalankan fungsi deteksi dini jamur di area perkebunan kelapa sawit. Uji coba ini menegaskan bahwa prototipe versi kedua telah mencapai TRL 6.

Penelitian ini menunjukkan bahwa menggabungkan teknologi foton, vibrasi, dan robotik berpotensi menjadi solusi inovatif untuk deteksi dini penyakit *Ganoderma* pada kelapa sawit secara cepat dan akurat. Teknologi ini dapat membantu petani dalam melakukan pretreatment lubang tanam sebelum penanaman, dan berpotensi dikembangkan untuk penggunaan skala besar di perkebunan.

PRJ-75/DPKS/2023

iFovib_G, Robot Berbasis Teknologi Foton dan Vibrasi untuk Deteksi Dini dan Kuratif Serangan *Ganoderma boninense* pada Kelapa Sawit

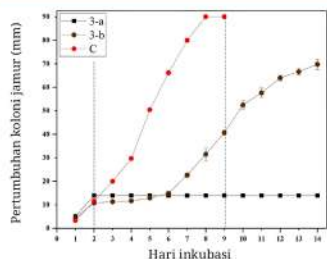
Maya Shovitri^{1*}, N.D. Kuswitasari¹, Tutik Nurhidayati¹, A.M.T. Nasution¹, Hendro Nurhadi¹, Mashuri¹, Muhammad Mustangin², Galuh Banowati²

¹Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ²Politeknik LPP Yogyakarta, *email: mshovitri@its.ac.id



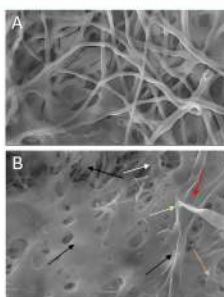
- Jamur *G. boninense* adalah jamur tular tanah yang dapat menyebabkan penyakit busuk pangkal batang dan busuk batang atas.
- Penelitian ini memberikan satu alternatif inovasi pengendalian dengan robot iFovib_G berbasis teknologi foton dan vibrasi.
- Robot ini dapat mendeteksi dini keberadaan *G. boninense* di tanah secara lebih efektif dan efisien.

1. Kurasi di Skala Laboratorium

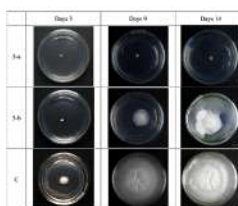


3-a = 0,5% kitosan, disusul dengan paparan 100 detik UV-C 24W, 253,7 nm dan 5 menit 40kHz USG
3-b = 0,75% kitosan, disusul dengan paparan 100 detik UV-C 24W, 253,7 nm dan 5 menit 40kHz USG
C = kontrol negatif (tanpa perlakuan)

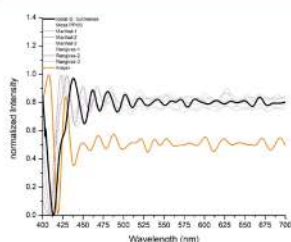
- Kombinasi kitosan, foton, dan vibrasi mampu menghambat pertumbuhan koloni *G. boninense* hingga 66% setelah 8 hari inkubasi.
- Penghambatan paling efektif terjadi dengan penyemprotan 0,5% kitosan sebanyak 0,5 ml, paparan foton 24W pada panjang gelombang 253,7 nm selama 100 detik, dan vibrasi 40 kHz selama 5 menit.
- Kitosan melemahkan ketahanan miselium jamur, sehingga membuatnya lebih peka terhadap paparan foton dan getaran.
- Foton dan vibrasi berperan dalam merusak dinding sel miselium secara fisik.



Morfologi hifa *G. boninense* pada SEM
A = Kontrol negatif; B = perlakuan 3-a



2. Deteksi Dini Berbasis Spektroskopi

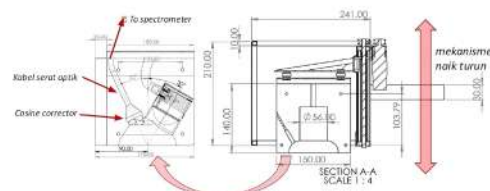


- Pembuktian konsep deteksi dini melalui teknik spektroskopi reflektansi berhasil mengidentifikasi ciri spektra dari kultur murni *G. boninense* dalam rentang VIS.
- Pembuktian ini dilakukan dengan membandingkan spektra sampel tanah dari kebun sawit di Marihat-Medan, Rangkasbitung-Banten, dan Krajan-Yogyakarta dengan spektra *G. boninense*.
- Perbandingan ini menunjukkan perbedaan pola yang sangat jelas antara tanah yang terkontaminasi jamur dan yang tidak.

3. Robot iFovib_G

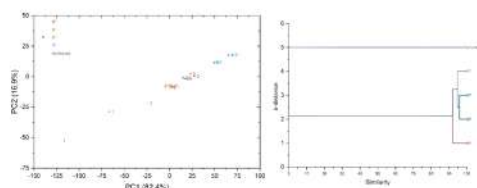


Robot iFovib_G versi II (p x l x t) 680 x 445 x 205 mm.



- Robot iFovib_G dirancang untuk mengukur reflektansi difus spektral permukaan tanah. Sistem ini dilengkapi dengan:
 - Probe deteksi menggunakan mekanisme translasi satu derajat kebebasan (naik-turun) untuk menjaga stabilitas posisi dan melindungi kabel serat optik.
 - Kabel serat optik berselubung baja tahan karat digunakan untuk meningkatkan ketahanan dan fleksibilitas.
 - Cosine corrector memastikan pengumpulan cahaya pantulan difus dari area pengukuran (ROI) secara optimal.
 - Spektrometer beroperasi pada rentang panjang gelombang cahaya tampak (visible).

- Robot iFovib_G telah diujicobakan ke lahan perkebunan kelapa sawit PT Prime Agri Resources Tbk, Palembang.



- Robot berhasil mendeteksi sampel tanah di lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa 4 sampel tanah yang terinfeksi membentuk kluster yang terpisah dengan tanah yang tidak terinfeksi.

25

INTERMITTENT FERTILIZER SPREADER HEMAT PUPUK DAN PRESISI UNTUK TBM KELAPA SAWIT

Peneliti: Rengga Arnalis Renjani, S.TP, M.Si, IPM ; Arief Ika Uktoro, S.TP, M.Sc, IPU ; Prof. Dr. Ir. Hemantoro, M.S, IPU, AER. ; Valensi Kautsar, SP, M.Sc, Ph.D ; Ngesahken Sembiring, S.TP ; Yogi Akbar Ermansyah, S.TP

Pemupukan merupakan kegiatan penting dalam budidaya kelapa sawit karena berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman, kecukupan hara, dan produktivitas tanaman. Pada tanaman belum menghasilkan (TBM), aplikasi pupuk perlu dilakukan secara lebih presisi karena zona perakaran aktif masih berada relatif dekat dengan pokok tanaman. Namun, metode pemupukan manual dan fertilizer spreader konvensional masih memiliki beberapa kelemahan, antara lain ketidaktepatan sasaran aplikasi, pemborosan pupuk pada area non-target seperti gawangan dan jalur lintasan, dosis yang tidak seragam, serta kebutuhan tenaga kerja yang tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan biaya operasional meningkat dan efisiensi serapan hara belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pemupukan presisi yang mampu mengaplikasikan pupuk secara selektif, efisien, dan sesuai posisi tanaman di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi Intermittent Fertilizer Spreader berbasis autonomus dan kecerdasan buatan guna meningkatkan presisi pemupukan pada tanaman belum menghasilkan (TBM) kelapa sawit, terutama melalui aplikasi pupuk yang tepat pada area piringan, pengurangan kehilangan pupuk pada area non-target, serta penurunan biaya operasional. Penelitian dilakukan melalui pendekatan desain rekayasa dan eksperimen lapangan, meliputi perancangan alat, manufaktur prototipe, kalibrasi dosis, pengujian pola sebaran pupuk, integrasi sensor, computer vision, GPS tracking, dan navigasi traktor otomatis dalam sistem AITRI. Prototipe yang dikembangkan memiliki hopper berkapasitas 300 kg dan mekanisme dual gate kiri-kanan yang bekerja secara intermiten. Pengujian dilakukan dengan membandingkan metode pemupukan manual, fertilizer spreader konvensional, dan intermittent fertilizer spreader berdasarkan parameter distribusi pupuk, koefisien variasi, kapasitas kerja, kebutuhan waktu, tenaga kerja, biaya pemupukan, serta kelayakan ekonomi teknologi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intermittent fertilizer spreader mampu meningkatkan presisi dan efisiensi pemupukan pada TBM kelapa sawit. Peningkatan putaran PTO hingga 750 rpm menghasilkan distribusi pupuk yang lebih seragam dengan nilai koefisien variasi terendah sebesar 23,76%. Penggunaan sistem mekanisasi juga mampu meningkatkan kapasitas kerja secara signifikan. Pemupukan manual memerlukan sekitar 16 tenaga kerja dengan kapasitas sekitar 2,8 ha per hari, sedangkan sistem mekanisasi hanya memerlukan 3 operator dengan kapasitas kerja hingga sekitar 30 ha per hari. Dari sisi biaya, pemupukan manual membutuhkan biaya sekitar Rp100.571 per hektar, sedangkan pemupukan menggunakan sistem mekanisasi sebesar Rp43.143 per hektar. Dengan demikian, teknologi ini mampu menurunkan biaya pemupukan sebesar 57,1%.

Analisis kelayakan investasi menunjukkan bahwa teknologi intermittent fertilizer spreader layak diterapkan secara finansial. Nilai NPV yang diperoleh mencapai Rp1,57 miliar, BCR sebesar 3,10, IRR sebesar 49,7%, dan payback period sekitar 1,98 tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga memiliki potensi ekonomi yang tinggi untuk diterapkan pada perkebunan kelapa sawit skala luas.



INSTITUT PERTANIAN STIPER
YOGYAKARTA



Didukung oleh Grand Riset Sawit 2024 - BPDP

INTERMITTENT FERTILIZER SPREADER

Hemat Pupuk dan Presisi untuk TBM Kelapa Sawit

Autonomous Intermittent Fertilizer Spreader (AITRI): integrasi AI, computer vision, GPS tracking, dan mekanisasi presisi untuk pemupukan tanaman belum menghasilkan.

Regga Arnalis Renjani | Arief Ika Uktoro | Hemantoro | Valensi Kautsar | Ngesahken Sembiring | Yogi Akbar Ermansyah



A LATAR BELAKANG

Pemupukan pada TBM kelapa sawit masih menghadapi kendala ketidaktepatan sasaran, pemborosan pupuk, dosis yang fluktuatif, dan biaya tenaga kerja yang tinggi. Fertilizer spreader konvensional bekerja kontinu sehingga pupuk sering jatuh pada area non-target seperti gawangan dan jalur lintasan. Inovasi intermittent fertilizer spreader dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi, ketepatan aplikasi, dan keberlanjutan operasional pemupukan.

B TUJUAN

- Meningkatkan presisi aplikasi pupuk pada area piringan TBM.
- Mengurangi kehilangan pupuk pada area non-target.
- Menurunkan biaya operasional pemupukan.
- Mengintegrasikan mekanisasi, AI, GPS tracking, dan sistem intermittent.

C ENGINEERING DESIGN

1. CAD Hopper 300 kg



- Kapasitas 300 kg
- Material fiberglass tahan korosi
- Desain presisi untuk aliran stabil

2. Hopper 300 kg



- Hopper utama
- Terpasang pada rangka penyalur
- Mendukung distribusi material

3. Dual Gate Intermittent



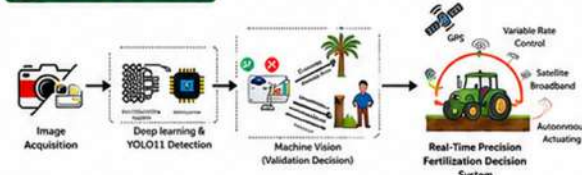
- Buka-tutup kiri/kanan otomatis
- Aktuator servo untuk aplikasi presisi
- Sistem intermittent (on/off)

4. Automatic Flap



- Mengontrol arah pupuk
- Berdasarkan posisi tanaman
- Membatasi aliran ke area target

D SISTEM AI (AITRI)



1. Input Data

Kamera, citra TM & GPS

2. AI Processing

YOLO11 detection & object classification

3. Decision

Validasi target TBM / non-target

4. Execution

Aktivasi gate kiri/kanan

5. Output

Pupuk tepat pada piringan

E HASIL PENELITIAN



57,1%

PENURUNAN BIAYA PEMUPUKAN
Dari Rp100.571/ha menjadi Rp43.143/ha



>10x

LEBIH CEPAT
Dari 2,8 ha/hari menjadi 30 ha/hari



49,7%

INTERNAL RATE OF RETURN (IRR)
Break-even point tercapai dalam 1,98 tahun



23,76%

COEFFICIENT OF VARIATION (CV)
Distribusi pupuk lebih seragam pada PTO 750 rpm dibandingkan PTO 540 rpm

F KINERJA OPERASIONAL

Parameter	Manual	AITRI
Operator	16 orang	3 orang
Biaya (Rp/ha)	100.571	43.143
Luas Kerja	2,8 ha/hari	30 ha/hari
Efisiensi Biaya	-	57,1%

G KELAYAKAN INVESTASI

NPV	Rp 1,57 Miliar
BCR	3,10
IRR	49,7%
Payback Period	1,98 Tahun

STATUS: SANGAT LAYAK

H SPESIFIKASI UTAMA

Kapasitas Hopper 300 kg	Sumber Daya 12V DC
Sistem Penyaluran Dual Gate Intermittent	Cakupan Kerja Hingga 30 ha/hari
Penggerak PTO Traktor	Sistem Navigasi GPS Tracking
Kontrol Otomatis (AI & aktuatur)	Kendaraan Traktor Otonom

I ROADMAP PENGEMBANGAN



J DASHBOARD AITRI



K KESIMPULAN

- ✓ AITRI meningkatkan presisi aplikasi pupuk pada TBM kelapa sawit.
- ✓ Sistem menurunkan biaya pemupukan sebesar 57,1% dan meningkatkan kapasitas kerja lebih dari 10 kali.
- ✓ Teknologi layak diterapkan secara finansial dengan IRR 49,7% dan payback period 1,98 tahun.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) - Institut Pertanian STIPER Yogyakarta
Grand Riset Sawit BPDP 2024 | Intermittent Fertilizer Spreader Hemat Pupuk dan Presisi untuk TBM Kelapa Sawit

26

Pengembangan Teknologi Kuratif Berbasis Nonsel-DNA Ganoderma (G-Fung) Untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang

Peneliti: Tjut Ahmad Perdana Rozziansha, M.Si, Muhammad Abdul Aziz, M.Si, Galuh Wening Permatasari, M.Eng, Donny Nugroho Kalbuadi, M.Si, Eka Wijayanti, S.P, M.Si, Deden Dewantara Eris, M.Si, Jan Willem Tako Bottema, Dr. Riza Arief Putranto, DEA

Serangan *Ganoderma boninense*, penyebab penyakit busuk pangkal batang (BPB) pada tanaman kelapa sawit, merupakan masalah utama bagi pelaku industri sawit dengan kerugian ekonomi mencapai lebih dari 4 triliun per tahun. Oleh sebab itu, hingga saat ini terus dilakukan pengembangan metode pengendalian secara kuratif, efektif, dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe produk fungisida organik berbasis Nonsel-DNA *Ganoderma* sp. (G-Fung) yang akan diaplikasikan melalui agensia pembawa mikroalga. Metode yang digunakan meliputi identifikasi molekular pada dua strain *Ganoderma*: Bahjambi dan Rejosari, optimasi kultivasi *Ganoderma*, optimasi scale up isolasi DNA, introduksi fragmen DNA *Ganoderma* ke dalam kultur *Spirulina* dan uji antagonis secara in vitro hingga aplikasinya pada skala lapang. Hasil yang didapatkan meliputi: (1) introduksi DNA *Ganoderma* ke dalam kultur *spirulina* (*Arthrospira platensis*) dapat dilakukan pada dosis 2000 µg (1x dosis), dan 4000 µg (2x dosis). (2) Berdasarkan uji antagonis diketahui bahwa aplikasi Self-DNA *Ganoderma* yang diintroduksi ke dalam kultur *Spirulina* menyebabkan penghambatan pertumbuhan *Ganoderma* yang signifikan dibanding kontrol, dengan persen penghambatan hingga 35%. (3) Berdasarkan analisis ekspresi gen diketahui bahwa ERG11 pada setiap perlakuan menunjukkan peningkatan level ekspresi masing-masing 37 (C+), 80 (C), 86 (G5), dan 6 (G10) kali lipat lebih tinggi dibandingkan C- (kontrol). Sementara itu, pada ERG11-1 hanya C+, G5 dan G10 yang menunjukkan peningkatan level ekspresi yaitu masing-masing 28, 11, dan 12 kali lipat dibanding kontrol. Aplikasi *Spirulina* yang diintroduksi DNA *Ganoderma* menyebabkan peningkatan level ekspresi LS masing-masing 2 (G5) dan 3 (G10) kali lipat dibandingkan C-.

Sementara itu, *Spirulina* tanpa introduksi DNA *Ganoderma* tidak menyebabkan peningkatan level ekspresi pada gen LS. Berbeda dengan LS, ekspresi CYP512A2 justru meningkat secara signifikan pada perlakuan C+ dan C, yaitu masing-masing sebesar 335 dan 348 kali lipat lebih tinggi dibandingkan C-. sementara itu, pada perlakuan G5, level ekspresi CYP512A2 hanya meningkat 10 kali lipat. (4) Pada pengujian skala RK, aplikasi G-Fung 2% menunjukkan inhibisi serangan *Ganoderma* pada 1 BSA, sementara hingga 5 BSA perlakuan G-Fung 4% menunjukkan inhibisi serangan *Ganoderma*. Serangan *Ganoderma* menyebabkan peningkatan level ekspresi gen-gen terkait deteksi dini *Ganoderma* seperti Anthocyanin & Chalcone, sementara aplikasi G-Fung menunjukkan penurunan level ekspresi gen-gen tersebut. Kelapa sawit pada 6 BSA dengan perlakuan P3 (8% G-fung) memiliki ekspresi kitinase (Eg-CHI3) pada daun sekitar 2,5x lipat lebih tinggi dan pada organ akar 2x lipat lebih tinggi daripada kontrol. Sedangkan perlakuan P1 dan P2 memiliki 1-1,5x ekspresi kitinase lebih tinggi daripada kontrol, baik pada daun maupun akar. Selain itu, EgMT (metallothionein) pada perlakuan P3 menunjukan level ekspresi yang paling rendah dibandingkan perlakuan lain yakni 10x lipat pada daun dan 0.5x lipat pada akar. (5) Berdasarkan hasil pengujian lapang, aplikasi G-Fung baik P1 (2%), P2 (4%), maupun P3 (8%) mampu menahan perkembangan *Ganoderma* yang ditandai dengan nilai intensitas penyakit yang konstan baik pada tanaman dengan tahun tanam 2009 maupun 2014, dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan pembanding hingga 4 bulan setelah aplikasi (BSA). Kedua metode aplikasi G-Fung baik injeksi batang maupun kocor dapat digunakan sebagai metode aplikasi G-Fung.

Pengembangan Teknologi Kuratif Berbasis Nonself-DNA *Ganoderma* (G-fung) Untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang

TAP Rozziensha*, MA Aziz, GW Permatasari, DN Kalbuadi, E Wijayanti, DD Eris, JWT Bottema, & RA Putranto.

Indonesian Oil Palm Research Institute, Bogor Unit, Jl. Taman Kencana No. 1, Bogor, Indonesia 16128

*Corresponding author: tap.rozziensha@gmail.com

Introduction

Basal Stem Rot (BSR), The Most Threatening Disease in Oil Palm Plantations

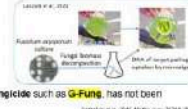
- BSR is caused by *Ganoderma boninense*
- In Indonesia, Affected area reached 118,000 ha
- Economical loss reached more than 4 trillion/year



- There are many efforts on controlling through preventive and curative approaches
- Studies continue to be conducted to obtain an effective, inexpensive, and environmentally friendly control methods

Self & Nonself-DNA: A new paradigm in biocontrol development

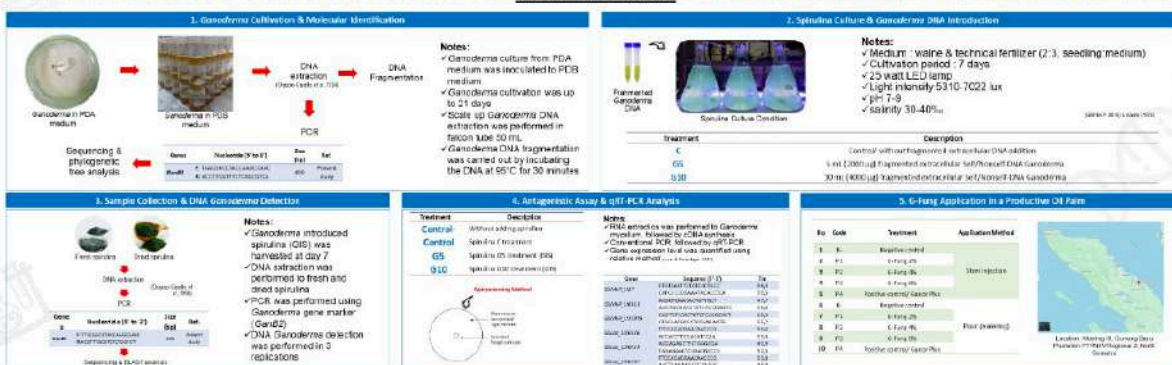
- Self-DNA: past organism biocontrol agent "green pesticide", while the effect of Nonself-DNA is similar to a vaccine inducing the plant immune system
- An idea to develop self/nonself-DNA carrier agent using microalgae
- Self/nonself-DNA was available in a small amount
- Spirulina contained macro and micronutrient benefit to boost plant health
- Promising ecofriendly technology
- The regulation of *Ganoderma*'s defence mechanism against organic fungicide such as G-Fung, has not been studied thoroughly



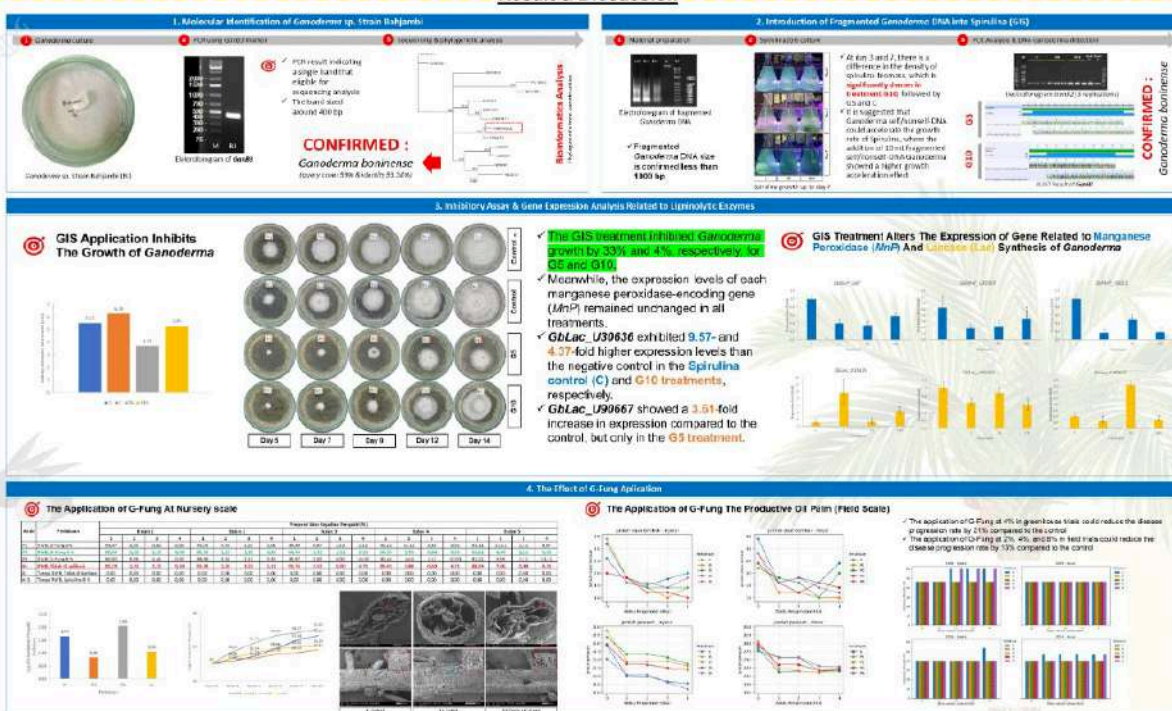
Objective

Developing an organic fungicide technology based on *Ganoderma* non-self-DNA (G-Fung) using microalgae as a carrier for the control of basal stem rot disease

Material & Method



Result & Discussion



Conclusion

- The application of GIS inhibited the growth of *Ganoderma*
- The bioactive compounds in Spirulina and GIS caused changes in laccase (*Lac*) gene expression of *Ganoderma*
- The use of G-Fung, whether in nursery settings or in the field, could reduce the rate of disease progression and the severity of disease outbreaks.

References

- Limont V, Aniano A, Grazi L, Zotti M, Garcia A, Senatore M, Morone M, Diavio M, Parente M, Esposito S. 2022. NMR metabolomics and chemometrics of laccase, laccase active L, under different foliar organic fertilization treatments. *Plants*, 11(16), pp.2184.
- Meunier S, Gauthier F, Bouchard G, Senatore M, Terroline E, Gauthier F, Jouve G, Rottier M, Lavigne V, Chazotte M. 2015. Inhibitory effects of extracellular self-DNA: a general biological process? *New Phytol.* 206(1), pp.117-132. doi:10.1111/NPH.13005.
- Nie X, Haruna RM, Sigurdson S, Fauzan F, Idrisi, Ezzati RB. 2022. Extracellular DNA of *Aspergillus niger* f. sp. *subsp. niger* as a priming agent for inducing the resistance of banana plantlets. *Agrochimica*, 11(2), pp.441-448. doi:10.5542/AGROCHIMICA.1102041.

Acknowledgement

We are thankful to the BPPD (Badan Pengelola Dana Perkebunan), Ministry of Finance, Indonesia, which provides the research grant (No. PPU-26/DPK/202) from 2023-2025

27

PENGEMBANGAN MARKA MOLEKULER UNTUK KELAPA SAWIT EFISIEN PENYERAPAN NUTRISI FOSFAT

Peneliti: Prof. Dr. Budi Setiadi Daryono, M.Agr.Sc dan tim peneliti

Efisiensi pemupukan diperlukan untuk mendukung keberlanjutan pada budidaya kelapa sawit. Fosfat merupakan unsur esensial utama kedua setelah nitrogen yang sangat diperlukan tanaman. Keberadaan unsur fosfat yang tidak optimal dapat menyebabkan terganggunya proses metabolisme pada tanaman sehingga menurunkan produktivitas. Tujuan dari penelitian ini adalah pengembangan marka molekuler untuk efisiensi penyerapan nutrisi fosfat pada tanaman kelapa sawit. Penggunaan marka molekuler dapat mempercepat proses pemuliaan kelapa sawit. Penelitian ini didasari oleh tingginya biaya pemupukan P, efisiensi penyerapan P yang rendah, ketersediaan P rendah, dan siklus hidup tanaman yang panjang. Metode perancangan marka molekuler mulai dari proses pencarian hingga validasi marka untuk efisiensi nutrisi pada kelapa sawit digunakan teknologi hidroponik dengan berbagai variasi dosis dalam media yang terkontrol pada tahap pertumbuhan main nursery. Pencarian marka meliputi tahapan profiling transkriptomik berbasis ekspresi gen dengan pendekatan RNA-Seq, analisis genomik berbasis single nucleotide polymorphism (SNP), dan analisis asosiasi antara genotip dan fenotip yang diperoleh untuk mendapatkan marka yang tepat dan akurat. Luaran dalam penelitian yang diperoleh sebagai berikut, (1) Eksplorasi kandidat gen terkait penyerapan nutrisi fosfat berbasis transkriptomik melalui pendekatan RNA-Seq diperoleh 7,351 DEG yang teridentifikasi terkait cekaman defisiensi fosfat pada kelapa sawit;

(2) Sebanyak lima gen telah divalidasi terkait defisiensi P dengan lima marka SNP yang telah divalidasi dapat membedakan antara progeni prolif (efisien P) dan non-prolif (kurang efisien P) pada kelapa sawit; (3) Kemudian dilakukan analisis ekspresi gen di daun dan akar, sebagai berikut (a) probable serine/threonine-protein kinase (PIX7), dengan level ekspresi di daun meningkat progeni prolif di starvation dan optimum, sedangkan pada akar meningkat di non-prolif di starvation dan optimum; (b) domain-containing protein 35-like (YC6), level ekspresi di daun dan akar pada progeni prolif tertinggi di optimum; (c) DAY-LENGTH-DEPENDENT DELAYED-GREENING 1 (NAC), level ekspresi di daun pada progeni prolif tertinggi di starvation, sedangkan di akar pada kondisi starvation dan optimum; (d) nuclear transcription factor Y subunit C-6-like (NYC), level ekspresi di daun dan akar pada progeni prolif tertinggi di optimum; (e) dehydration-responsive element-binding protein 1F-like (Dreb-1F), level ekspresi di daun dan akar pada progeni prolif tertinggi di optimum. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini telah diperoleh prototipe sistem hidroponik untuk pengembangan marka molekuler efisiensi nutrisi fosfat. Saran dari kegiatan ini yaitu hasil penelitian dapat diterapkan di industri untuk pencarian atau seleksi tanaman induk kemudian marka dapat digunakan untuk validasi populasi dengan perlakuan P.



Pengembangan Marka Molekuler Untuk Kelapa Sawit Efisien Penyerapan Nutrisi Fosfat

Budi Setiadi Daryono¹, Sigit Dwi Maryanto¹, Eka Tarwaca Susila Putra², Diah Rachmawati¹, Purnomo¹

¹Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

²Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Latar Belakang



Pemuliaan tanaman

Marka Molekuler

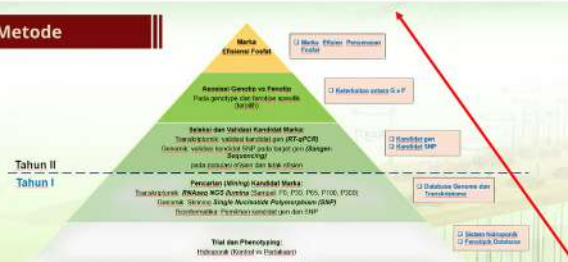
Pengembangan marka molekuler modern dapat dilakukan dengan pendekatan Omics

Manajemen pemupukan

Efisien + Efektif

= Profit Meningkat

Metode



Tujuan

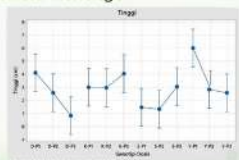
1. Mendapatkan metode hidroponik optimal yang dapat digunakan untuk skrining dan pencarian marka molekuler yang tepat dan akurat.
2. Mendapatkan marka terkait efisiensi penyerapan fosfat pada kelapa sawit.

Urgensi

1. Biaya pemupukan P tinggi
2. Efisiensi penyerapan P yang rendah
3. Ketersediaan P rendah
4. Siklus hidup tanaman yang panjang

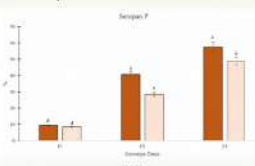
Luaran

A. Parameter Morfologis



Hasil pengukuran delta tinggi tanaman seedling DxP profilik lebih tinggi daripada non-profilik pada semua dosis tanaman seedling DxP.

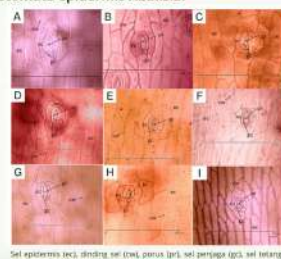
B. Nilai serapan P



Nilai nilai efisiensi serapan P yang baik yaitu sebesar 15-20 %. Pada kondisi kelaparan-P, tanaman kurang efisiensi dalam penyerapan P karena didalam media tanpa P tanaman hanya menggunakan P terikat dari dalam jaringan tubuhnya sendiri untuk dirombak menjadi P bebas.

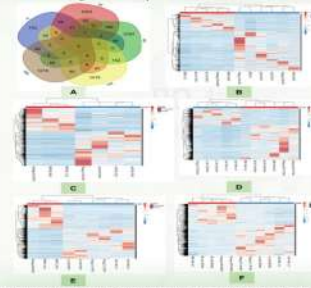
Pada seedling DxP memiliki nilai serapan < 15% artinya kurang efisien dalam penyerapan P.

C. Stomata epidermis Abaksial



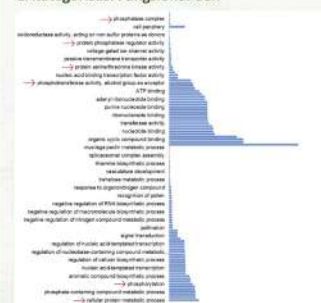
Pada kondisi kelaparan P tanaman klonal, stomata banyak ditemukan terbuka dibandingkan pada kondisi optimum sebagai mekanisme peningkatan laju fotosintesis.

D. Profiling Transkriptomik

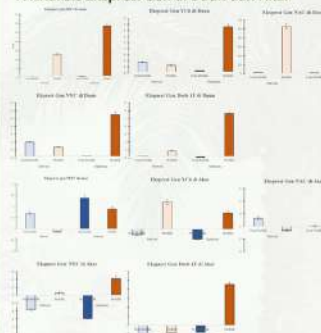


Profiling transkriptomik: A) Diagram Venn Prognosis Profilik vs. Non-Profilik pada 5 initial level dosis pemupukan fosfat; B) Heatmap pada dosis fosfat 0; C) Heatmap pada dosis fosfat 50; D) Heatmap pada dosis fosfat 100; E) Heatmap pada dosis fosfat 200.

E. Kategorisasi Fungsional Gen



F. Analisis Ekspresi Gen di Daun dan Akar



Kesimpulan

1. Telah diperoleh prototipe sistem hidroponik untuk pengembangan marka molekuler efisiensi nutrisi fosfat.
2. Diperoleh 13 karakter morfologi kuantitatif yang dapat digunakan untuk mencari marka yang dapat membedakan antara progeni efisien dan non-efisien.
3. Eksplorasi gen berbasis transkriptomik melalui pendekatan RNAseq diperoleh 7,351 DEG yang teridentifikasi terkait cekaman fosfat pada kelapa sawit.

Saran

1. Hasil penelitian dapat diterapkan di industri untuk pencarian atau seleksi tanaman induk.
2. Marka dapat digunakan untuk validasi populasi dengan perlakuan P.

Narahubung : Budi Setiadi Daryono
Email : bs_daryono@mail.ugm.ac.id

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Sawit, Program Grant Riset Sawit BPD PKS 2023, Universitas Gadjah Mada, dan Tim Riset Sawit UGM.

28

STRATEGI PENGEMBANGAN OBAT ANTI FUNGI SELEKTIF DAN KUAT UNTUK PENGENDALIAN KURATIF SERANGAN GANODERMA BONINENSE RESISTEN FUNGISIDA HEKSAGONAZOLE BERBASIS LIPOPEPTIDA NOVEL TAHAN PANAS DAN UV DARI STREPTOMYCES GBSR1

Peneliti: Cico Jhon Karunia Simamora⁽¹⁾, Nelly Wahyuni⁽²⁾, Muhammad Pramulya⁽¹⁾, Jumiati⁽³⁾

1. Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura
2. Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
3. Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Penyakit Busuk Pangkal Batang (BPB) yang disebabkan oleh jamur *Ganoderma boninense* masih menjadi ancaman utama bagi keberlanjutan industri kelapa sawit, terutama dengan munculnya isolat yang telah resisten terhadap fungisida sintetik seperti Heksakonazol. Sebagai alternatif pengendalian yang lebih efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan, telah dikembangkan biofungisida kuratif berbasis senyawa Cyclic Lipopeptide (Liposac) hasil ekstraksi isolat bakteri unggul *Streptomyces GBSR1*. Setelah terbukti efektif menekan pertumbuhan *G. boninense* secara in vitro dan in vivo pada tahap pembibitan, formulasi Liposac selanjutnya diujikan secara langsung di lapangan pada tanaman kelapa sawit produktif yang telah terinfeksi, guna memverifikasi efektivitasnya pada skala aplikasi yang sesungguhnya. Uji aplikasi lapangan dilaksanakan pada tanaman kelapa sawit varietas Marihat di perkebunan PT MPE. Sampel tanaman dipilih menggunakan metode purposive sampling dengan kriteria tanaman sehat tanpa gejala serangan serta tanaman sakit kategori berat (DSI 2 an 3), untuk merepresentasikan kondisi fisiologis yang berbeda dalam pengujian efektivitas perlakuan. Liposac diaplikasikan melalui injeksi batang pada empat taraf konsentrasi (500, 1000, 2000, dan 4000 ppm) dengan dosis aplikasi 40 mL per tanaman yang diinjeksi melalui dua lubang sebanyak 20 ml pada setiap lubangnya, dan dibandingkan dengan tiga kelompok kontrol, yaitu tanaman sehat tanpa perlakuan, tanaman sakit tanpa perlakuan, serta tanaman sakit yang diberi fungisida Heksakonazol. Efektivitas perlakuan dievaluasi melalui beberapa parameter, meliputi kandungan fitokimia daun (fenol, flavonoid, tanin, dan klorofil), kandungan fitokimia akar (fenol, flavonoid, tanin, dan ergosterol), Disease Severity Index (DSI), serta persentase kolonisasi *G. boninense* pada akar melalui isolasi pada *Ganoderma Selective Medium* (GSM).

Hasil pengamatan pada 5 bulan setelah aplikasi (BSA) menunjukkan bahwa konsentrasi 2000 ppm secara konsisten memberikan respon terbaik pada seluruh parameter yang diuji. Pada jaringan daun, perlakuan 2000 ppm menghasilkan peningkatan kandungan fenol mencapai 71,48 mg GAE/100 g, flavonoid 5,60 mg QE/100 g, tanin 25,44 mg TAE/100 g, serta total klorofil 20,18 g/L, lebih tinggi dibandingkan tanaman sakit tanpa perlakuan (15,93 mg/L). Pola serupa juga teramati pada jaringan akar dengan kandungan fenol, flavonoid, dan tanin meningkat masing-masing hingga 12,67 mg GAE/g, 1,02 mg QE/g, dan 4,80 mg TAE/g, diikuti penurunan kandungan ergosterol menjadi 51,14 mg/L yang mengindikasikan tertekannya kolonisasi patogen pada jaringan akar. Nilai DSI pada perlakuan 2000 ppm tercatat paling rendah yaitu 50,00% dibandingkan tanaman sakit tanpa perlakuan (81,25%) maupun perlakuan Heksakonazol (68,75%). Sejalan dengan hal tersebut, persentase kolonisasi *G. boninense* pada akar berdasarkan isolat GSM juga paling rendah pada perlakuan 2000 ppm (48%), dibandingkan kontrol sakit tanpa perlakuan (100%) dan perlakuan Heksakonazol (62%). Secara keseluruhan, hasil aplikasi lapangan ini menegaskan bahwa konsentrasi 2000 ppm merupakan dosis paling efektif dalam menekan perkembangan *G. boninense* sekaligus meningkatkan respons fisiologis pertahanan tanaman kelapa sawit, baik pada lahan gambut maupun lahan aluvial. Efektivitas ini lebih tinggi dibandingkan fungisida sintetik Heksakonazol, sehingga memperkuat potensi Liposac sebagai biofungisida kuratif berbasis Cyclic Lipopeptide yang efektif, selektif, dan ramah lingkungan, serta siap dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi skala luas di perkebunan kelapa sawit.

STRATEGI PENGEMBANGAN OBAT ANTI FUNGI SELEKTIF DAN KUAT UNTUK PENGENDALIAN KURATIF SERANGAN *Ganoderma boninense* RESISTEN FUNGISIDA HEKSAGONAZOLE BERBASIS LIPOPEPTIDA NOVEL TAHAN PANAS DAN UV DARI *Streptomyces* GBSRI

Cico Jhon Karunia Simamora, Nelly Wahyuni, Muhammad Pramulya, Jumiaty
e-mail: csomamora@faperta.untan.ac.id

LATAR BELAKANG

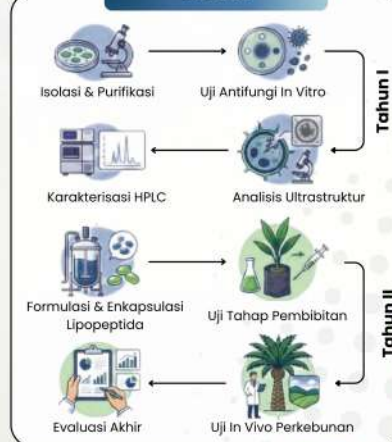
Penyakit Busuk Pangkal Batang oleh *Ganoderma boninense* menyerang masif perkebunan sawit dan memicu kerugian ekonomi akibat kematian tanaman dan biaya replanting. Pengendalian dengan fungisida spektrum luas heksakonazol kini tidak efektif karena munculnya isolat resisten. Resistensi terjadi akibat tekanan seleksi dari penggunaan tunggal terus-menerus, memicu mutasi gen target dan peningkatan detoksifikasi jamur.

Solusi kuratif baru yang mendesak dikembangkan adalah agens hayati *Streptomyces* GBSRI asal basidiokarp *Ganoderma* busuk. Isolat ini menghasilkan lipopeptida siklik novel golongan fengycin dan iturin yang merusak hifa *G. boninense* resisten, dengan daya hambat >61% in vitro. Formulasi enkapsulasinya stabil terhadap panas dan UV, berpotensi menjadi biofungisida selektif, ekonomis, dan ramah lingkungan.

TUJUAN

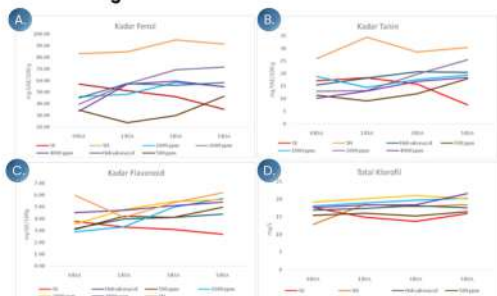
Mengembangkan biofungisida lipopeptida siklik dari *Streptomyces* GBSRI yang tahan UV sebagai solusi kuratif *Ganoderma boninense* resisten heksakonazol melalui pemetaan resistensi, optimasi formulasi, dan uji efektivitas lapang.

METODE

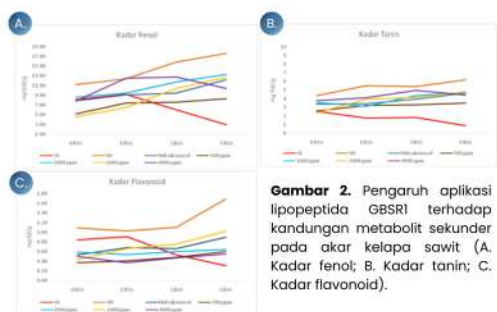


HASIL

1. Profiling Fitokimia

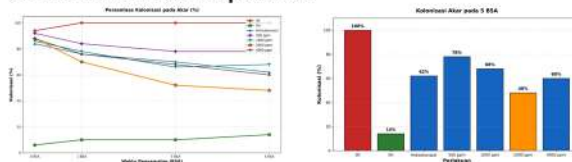


Gambar 1. Pengaruh aplikasi lipopeptida GBSRI pada daun kelapa sawit, A. Kadar fenol; B. Kadar tanin; C. Kadar flavonoid; D. Total klorofil. (SK: kontrol sakit; SH: kontrol sehat; BSA: bulan setelah aplikasi)

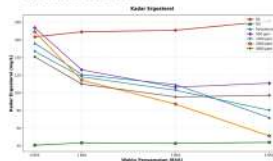


Gambar 2. Pengaruh aplikasi lipopeptida GBSRI terhadap kandungan metabolit sekunder pada akar kelapa sawit (A. Kadar fenol; B. Kadar tanin; C. Kadar flavonoid).

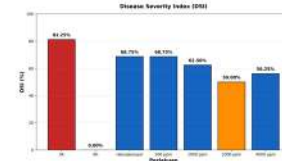
2. Kolonisasi *Ganoderma* pada akar



3. Dinamika Ergosterol pada tanaman sawit



4. Disease Severity Index (DSI)



Pembahasan

Lipopeptida GBSRI konsentrasi 2000 ppm efektif mengendalikan *G. boninense* melalui induksi ketahanan tanaman. Konsentrasi tersebut memicu peningkatan senyawa fenol, tanin, dan flavonoid dari daun hingga akar, menjaga klorofil tetap tinggi dan stabil. Aktivasi metabolit sekunder ini berhasil menekan keparahan penyakit dengan DSI terendah 50,00% dan melindungi lebih dari 50% akar dari kolonisasi.

Kesimpulan

- Lipopeptida 2000 ppm adalah konsentrasi optimum yang menginduksi ketahanan sistemik dan menekan *G. boninense* paling efektif.
- Efikasi 2000 ppm superior dibanding heksakonazol dalam menurunkan DSI, ergosterol, dan kolonisasi akar pada 5 BSA.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPD PKS) melalui skema Grant Riset Sawit 2023. Penulis menyampaikan apresiasi kepada Universitas Tanjungpura dan Tim Riset Sawit UNTAN atas dukungannya selama pelaksanaan penelitian.

29

PRODUKSI INSEKTISIDA DAN ATRAKTAN DARI TANAMAN HUJAN EMAS (*Senna multijuga*) UNTUK MENGENDALIKAN *Oryctes rhinoceros* PADA TANAMAN KELAPA SAWIT

Peneliti: Yuyun Fitriana⁽¹⁾, Rosma Hasibuan⁽¹⁾, Radix Suharjo⁽¹⁾, Subeki⁽²⁾, Ruli Wandri⁽³⁾, Samsu Alam⁽³⁾, Shervinia Dwi Ayundra⁽³⁾

1. Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
2. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
3. Prime Agri Resources Tbk

Kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros* L.) merupakan salah satu hama utama perkebunan kelapa sawit yang merusak titik tumbuh tanaman, menghambat pertumbuhan vegetatif, dan menurunkan produktivitas. Pengendalian yang masih bergantung pada insektisida sintesis dan feromon komersial menghadapi berbagai kendala, terutama terkait efektivitas jangka panjang dan dampak lingkungan. Penelitian ini mengeksplorasi potensi hujan emas (*Senna multijuga* var. *multijuga*) sebagai sumber senyawa bioaktif untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida dan atraktan bagi *O. rhinoceros*. Identifikasi tanaman secara morfologi dan molekuler menggunakan marka gen *matK*, *rps16*, dan *rpl16* mengonfirmasi bahwa spesies tersebut sebagai *S. multijuga* var. *multijuga*. Senyawa bioaktif dieksplorasi melalui ekstraksi, fraksinasi, pemurnian, dan karakterisasi menggunakan LC-MS, NMR, dan HMBC. Hasil analisis mengidentifikasi senyawa utama dengan berat molekul 439,3577 yang berpotensi sebagai bioinsektisida dan atraktan. Studi *in silico* menunjukkan bahwa senyawa tersebut memiliki afinitas ikatan (*binding affinity*) yang lebih tinggi terhadap protein asetilkolinesterase dan reseptor odoran dibandingkan senyawa pembeding komersial, mengindikasikan kemampuan mengganggu sistem saraf sekaligus memengaruhi respons perilaku serangga terhadap sinyal kimia. Potensi tersebut dikonfirmasi melalui pengujian biologis, di mana senyawa hasil isolasi menyebabkan mortalitas *O. rhinoceros* hingga 83,06%, sedangkan aplikasi ekstrak kasar *S. multijuga* pada uji lapang menghasilkan mortalitas larva sebesar 94,17%, lebih tinggi dibandingkan perlakuan karbosulfan (85,00%). Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak hujan emas memiliki aktivitas insektisidal tinggi dan berpotensi menjadi alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan.

Analisis GC-MS terhadap minyak esensial hujan emas mengidentifikasi etil 4-metiloktanoat sebagai salah satu komponen dominan yang dilaporkan berperan sebagai atraktan *O. rhinoceros*. Namun, pengujian lapang belum menunjukkan kemampuan ekstrak *S. multijuga* untuk menarik imago secara konsisten sehingga aspek ini masih memerlukan penelitian lanjutan. Penelitian juga mengevaluasi dampak ekologis aplikasi ekstrak hujan emas terhadap komunitas mikroba tanah melalui pendekatan kultur mikroba dan metagenomik. Hasilnya menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak *S. multijuga* memengaruhi struktur komunitas mikroba tanah, tetapi tingkat gangguannya lebih rendah dibandingkan insektisida sintesis. Analisis keanekaragaman alfa menunjukkan penurunan kekayaan dan keanekaragaman mikroba setelah perlakuan, namun perubahan tersebut relatif lebih moderat dibandingkan karbosulfan. Analisis keanekaragaman beta, PCA, dan hierarchical clustering menunjukkan perubahan komposisi komunitas mikroba, meskipun komunitas yang terbentuk tetap didominasi bakteri fungsional yang berperan dalam siklus hara, dekomposisi bahan organik, dan kesehatan tanah. Secara keseluruhan, *S. multijuga* merupakan sumber senyawa bioaktif yang prospektif untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida ramah lingkungan dalam pengendalian *O. rhinoceros*. Selain efektif menekan populasi hama sasaran, penggunaannya memberikan dampak lebih rendah terhadap komunitas mikroba tanah dibandingkan insektisida sintesis sehingga berpotensi mendukung pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang lebih berkelanjutan. Namun demikian, produksi ekstrak *S. multijuga* masih memerlukan peningkatan efisiensi, terutama pada tahap evaporasi dan penggunaan pelarut, agar layak secara ekonomi dan dapat dikembangkan pada skala industri.



Produksi Insektisida dan Atraktan dari Tanaman Hujan Emas (*Senna multijuga*) untuk Mengendalikan *Oryctes rhinoceros* pada Tanaman Kelapa Sawit

Yuyun Fitriana¹⁾, Rosma Hasibuan¹⁾, Radix Suharjo¹⁾, Subeki²⁾, Ruli Wandri³⁾, Samsu Alam³⁾, Shervinia Dwi Ayundra³⁾

¹⁾Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, ²⁾Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, ³⁾Prime Agri Resources Tbk

Email: yuyun.fitriana@fp.unila.ac.id



PENDAHULUAN

Kumbang tanduk kelapa sawit (*Oryctes rhinoceros* L.) merupakan hama utama yang merusak titik tumbuh tanaman, menghambat pertumbuhan vegetatif, dan menurunkan produktivitas kelapa sawit. Pengendalian yang masih bergantung pada insektisida sintetis dan feromon komersial menghadapi kendala efektivitas jangka panjang serta dampak lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi potensi hujan emas (*Senna multijuga* var. *multijuga*) sebagai sumber senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai bioinsektisida dan atraktan untuk pengendalian *O. rhinoceros*.

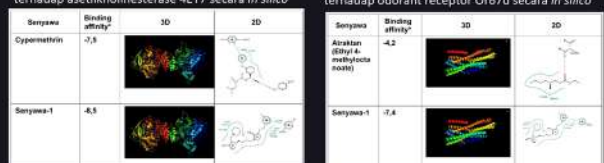
BAHAN DAN METODE

Senyawa bioaktif dieksplorasi melalui ekstraksi, fraksinasi, pemurnian, dan karakterisasi menggunakan LC-MS, NMR, dan HMBC. Potensi ekstrak *S. multijuga* sebagai atraktan diuji pada imago *O. rhinoceros* di laboratorium dan lapangan. Kemampuan ekstrak *S. multijuga* sebagai bioinsektisida diuji pada larva dan imago *O. rhinoceros* di laboratorium dan lapangan. Dampak ekologis aplikasi ekstrak *S. multijuga* terhadap komunitas mikroba tanah dilakukan melalui pendekatan kultur mikroba dan analisis metagenomik. Analisis ekonomi dan kelayakan penyediaan dan aplikasi ekstrak kasar *S. multijuga* juga dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis mengidentifikasi senyawa utama (berat molekul 439,3577) yang berpotensi sebagai bioinsektisida dan atraktan terhadap *O. rhinoceros*. Potensi ini didukung oleh analisis *in silico* dan dikonfirmasi melalui pengujian biologis, di mana senyawa hasil isolasi menyebabkan mortalitas hingga 83,06%, sedangkan ekstrak kasar *S. multijuga* di lapang menghasilkan mortalitas larva sebesar 94,17%, lebih tinggi dibandingkan karbosulfan (85,00%). Analisis GC-MS juga mengidentifikasi etil 4-metiloktanoat sebagai komponen yang berpotensi sebagai atraktan, meskipun efektivitasnya di lapang masih perlu dikaji lebih lanjut. Ekstrak *S. multijuga* mempengaruhi komunitas mikroba tanah dengan dampak yang lebih rendah dibandingkan insektisida sintetis, sehingga berpotensi sebagai alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. Produksi ekstrak *S. multijuga* masih memerlukan peningkatan efisiensi, terutama pada tahap evaporasi dan penggunaan pelarut, agar lebih menguntungkan secara ekonomi dan dapat dikembangkan sebagai bioinsektisida nabati yang ramah lingkungan pada skala industri.

Aktivitas insektisida senyawa-1 dan sipernetrin terhadap asetilkolinesterase 4EY7 secara *in silico*

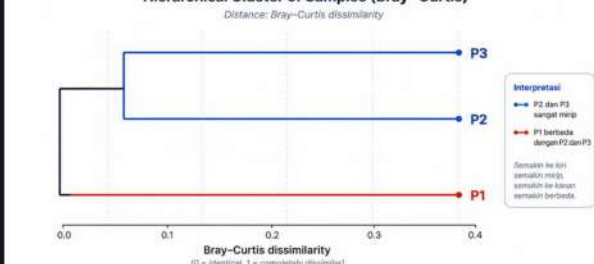


Semakin negatif binding affinitynya, semakin kuat dan stabil ikatannya sehingga lebih sulit terdisosiasi

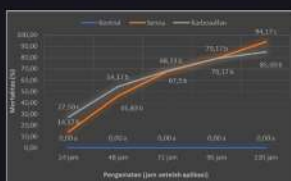
Aktivitas atraktan senyawa-1 dan Ethyl 4-methyl octanoate terhadap odorant receptor Or67d secara *in silico*



Hierarchical Cluster of Samples (Bray-Curtis)



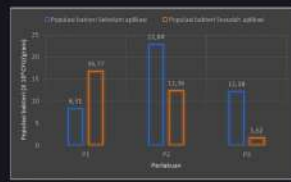
Dendrogram pengelompokan komposisi komunitas bakteri pada setiap perlakuan. P1. Kontrol, P2. Ekstrak *S. multijuga*, P3. Karbosulfan



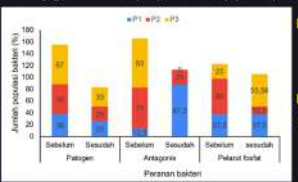
Mortalitas larva *O. rhinoceros* setelah aplikasi ekstrak *S. multijuga*



Larva *O. rhinoceros* setelah aplikasi ekstrak *S. multijuga*. Larva mati (kiri), Larva hidup (kanan)



Populasi bakteri pada media hidup *O. rhinoceros* sebelum dan sesudah aplikasi ekstrak *S. multijuga* dan karbosulfan. P1. Kontrol, P2. Ekstrak *S. multijuga*, P3. Karbosulfan



Populasi bakteri yang didapatkan sebagai patogen, antagonis dan pelarut fosfat sebelum dan sesudah aplikasi ekstrak *S. multijuga* dan karbosulfan. P1. Kontrol, P2. Ekstrak *S. multijuga*, P3. Karbosulfan

Produksi ekstrak *S. multijuga* masih perlu ditingkatkan efisiensinya, terutama pada tahap evaporasi dan penggunaan pelarut, agar lebih menguntungkan secara ekonomi.

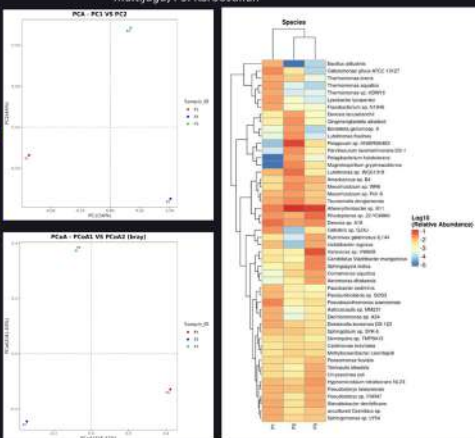
Biaya pembuatan ekstrak kasar *S. multijuga* dan aplikasinya di lapangan

Komponen	Biaya Dasar (Rp)	Biaya 1 ha (Rp)	Kontribusi (%)
Proses pembuatan ekstrak			
Pengumpulan kulit batang	105.000	495.000	0,80
ETI asetat	4.500.000	13.500.000	21,73
Teranga ekstraksi	800.000	2.400.000	3,86
Maserasi	3.960.000	11.880.000	19,12
Evaporasi	11.250.000	33.750.000	54,33
Teranga aplikasi dan pengamatan			
Sensus serangan Oryctes	16.500	16.500	0,03
Teranga aplikasi	82.500	82.500	0,13
Total	20.774.000	62.124.000	

Hasil uji peranan bakteri yang berhasil diisolasi.

A. Uji soft rot, B. Uji pelarut fosfat, C. Uji antagonis terhadap *Ganoderma boninense*. A1. Soft rot positif, A2. Soft rot negatif, B1. Tidak mampu melarutkan fosfat (tidak ada zona bening di sekitar koloni bakteri), B2. Mampu melarutkan fosfat (terdapat zona bening di sekitar koloni bakteri), C1. Tidak mampu menghambat *G. boninense*, C2. Mampu menghambat *G. boninense*

Aplikasi ekstrak *S. multijuga* mempengaruhi struktur komunitas mikroba tanah, namun tingkat pengaruhnya lebih rendah dibandingkan insektisida sintetis.



Komposisi bakteri. Principal Component Analysis (PCA) (atas), Principal Coordinate Analysis (PCoA) (bawah). P1. Kontrol, P2. Ekstrak *S. multijuga*, P3. Karbosulfan

SIMPULAN

Tanaman hujan emas (*Senna multijuga*) berpotensi sebagai sumber bioinsektisida dan atraktan untuk mengendalikan kumbang tanduk kelapa sawit (*Oryctes rhinoceros*). Ekstrak dan senyawa hasil isolasinya efektif menyebabkan mortalitas tinggi dan lebih ramah lingkungan dibandingkan insektisida sintetis, namun efisiensi produksinya masih perlu ditingkatkan agar dapat diterapkan pada skala industri.

30

INTEGRASI DRONE MULTI-SENSOR BERBASIS DEEP LEARNING UNTUK OPTIMASI PROSES PENYERBUKAN BUATAN PADA KELAPA SAWIT

Peneliti: Mokhamad Nur Cahyadi, Agus Budi Raharjo, Ronny Mardiyanto, Triono Bagus Saputro, Yuni Setyaningsih, Lisnawita, Wismaroh Sanniwati Saragih

Kelapa sawit merupakan komoditas strategis yang menyumbang 4,5% terhadap PDB nasional Indonesia pada tahun 2023, namun realisasi produktivitasnya masih sering terhambat oleh rendahnya efisiensi penyerbukan. Metode assisted pollination konvensional (Aspol) yang mengandalkan tenaga manusia membutuhkan biaya upah tinggi, waktu operasi yang lama, serta menimbulkan risiko keselamatan kerja yang signifikan pada pohon tinggi, terutama saat musim hujan karena kondisi batang yang licin. Di sisi lain, polinator alami seperti kumbang *Elaeodius kamerunicus* sangat rentan terhadap fluktuasi cuaca ekstrem dan tekanan hama *Tirathaba rufivena* yang menekan keberhasilan penyerbukan di lapangan. Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem drone multi-sensor semi-otomatis berbasis kecerdasan buatan sebagai polinator buatan yang mengintegrasikan computer vision real-time untuk mendeteksi tingkat reseptivitas bunga betina serta mengotomatisasikan aplikasi mikrodosis serbuk sari secara presisi di lapangan.

Eksperimen lapangan dilaksanakan selama 15 bulan menggunakan rancangan acak komparatif terhadap empat metode penyerbukan (drone, manusia/Aspol, serangga *E. kamerunicus*, dan kontrol alami) pada tegakan kelapa sawit varietas Socfindo LaMe (usia 4-5 tahun) yang resisten *Ganoderma*, bekerja sama dengan mitra industri PT Socfin Indonesia, Asian Agri, dan PTPN. Data agronomi diambil pada sekitar 30 pohon per perlakuan yang dibagi ke dalam dua kondisi pasca-polinasi, yaitu lingkungan terbuka (tanpa sungkup) dan isolasi total (dengan sungkup) guna mengeliminasi intervensi angin maupun serangga. Bahan polinasi yang digunakan adalah campuran serbuk sari jantan aktif dengan talcum powder pada rasio standarisasi 1:4. Navigasi drone di bawah kanopi rapat memanfaatkan fusi sensor kamera, Inertial Measurement Unit (IMU), Global Navigation Satellite System (GNSS), serta sensor barometer (BARO) untuk menjamin stabilitas wahana pada mode terbang LOITER.

Pengembangan model deteksi dilakukan melalui tiga iterasi (YOLOv5, YOLOv8, dan YOLOv11) untuk mengenali fase reseptivitas kepala putik (F0 sangat reseptif, F1 reseptif, F2 tidak reseptif). Arsitektur YOLOv11 dengan resolusi input 640×640 piksel menjadi model terbaik untuk deployment pada edge device, dengan presisi sebesar 93,9%, recall 97,8%, mAP sebesar 77,1% (mAP@0,5 dilaporkan 95,5%), serta F1-score mencapai 97,1%. Performa ini relatif lebih seimbang antara precision dan recall dibandingkan YOLOv5n, yang meski mencatatkan mAP50 keseluruhan tinggi (95,2%), menunjukkan precision yang lebih rendah pada kelas F0 (0,798) akibat false positive terhadap latar belakang, dengan titik confidence optimal di sekitar 0,685.

Analisis data log penerbangan menunjukkan bahwa sensor BARO menghasilkan estimasi ketinggian yang jauh lebih kontinu dan halus di bawah kanopi dibandingkan GPS vertikal yang mengalami degradasi sinyal multi-path, dengan parameter PWM channel throttle tetap stabil pada nilai netral sekitar 1500 μ s saat kondisi hover.

Rekayasa mekanis unit penyemprot polen (Aspol-Sprayer) dikembangkan secara modular melalui empat tahap iteratif, dari generasi awal seberat 147 gram (kapasitas 12 gram, baterai LiPo 350 mAh dengan durasi $\pm$ 16 menit, jangkauan kendali $\pm$ 100 meter) menjadi desain akhir Tahap 4 yang mengintegrasikan mekanisme dosis berbasis micro-servo dengan kapasitas tangki 20 gram, radius kendali nirkabel hingga 5 km, serta target durasi operasional baterai 30 menit, mampu mendistribusikan polen secara presisi 1 gram per pohon dengan cakupan permukaan bunga mencapai 90-95%. Pengukuran biometrik tanaman selama 5,5 bulan pasca-penyerbukan mengonfirmasi bahwa perlakuan drone menghasilkan persentase buah normal (fruit set) tertinggi sebesar 88,23% dan menekan pembentukan buah partenokarpi hingga 11,77%, melampaui ASPOL (80,76%), polinator serangga (38,50%), dan kontrol alami (27,62%), serta berada jauh di atas ambang batas minimum keberhasilan agronomis kelapa sawit (>75%). Secara statistik (uji Tukey), drone dan ASPOL tidak berbeda nyata, namun drone menawarkan konsistensi hasil antar sampel yang lebih tinggi serta keunggulan dari sisi keselamatan kerja.

Analisis mutu pasca-panen menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa sungkup, drone menghasilkan rendemen minyak (Oil Extraction Rate/OER) rata-rata 26,90% dengan dispersi data homogen, mendekati ASPOL (27,40%). Pada kondisi bersungkup (isolasi mekanis total), OER meningkat hingga rata-rata tertinggi 29,86% (maksimum sampel 33,16%) dengan kadar air terendah (25,92%), rasio fruit/bunch 71,24%, dan oil/mesocarp 58,44%. Dari aspek tekno-ekonomi, studi pasar dengan metode Van Westendorp menetapkan rentang harga yang dapat diterima Rp12,5–18 juta dengan harga ideal sekitar Rp15,25 juta per unit, didukung estimasi biaya perawatan rutin rata-rata Rp2,65 juta. Produk DronePoli telah diajukan permohonan paten ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual dan tengah menuju Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) 7–8, didukung minat pembelian awal dari mitra industri seperti PT Bumitama Gunajaya Agro (BGA) sebanyak 10 unit, menunjukkan potensi kuat untuk dikembangkan menuju komersialisasi dan implementasi lebih luas pada industri kelapa sawit Indonesia.



" INTEGRASI DRONE MULTI SENSOR UNTUK OPTIMASI PROSES PENYERBUKAN KELAPA SAWIT "

Prof. Mokhammad Nurcahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

• Latar belakang dan Urgensi

1. Sektor kelapa sawit menyumbang 4,5% terhadap PDB nasional, namun efisiensi penyerbukan alami di lapangan sering terganggu.
2. Populasi polinator alami (*Elaeidobius kamerunicus*) berfluktuasi ekstrem akibat dinamika cuaca dan ancaman predasi hama ulat bunga (*Tirathaba rufivena*).
3. Metode assisted pollination (Aspol) manual oleh tenaga kerja manusia membutuhkan biaya upah yang tinggi, waktu aplikasi yang lama, serta memiliki risiko keselamatan kerja fisik yang sangat tinggi pada tegakan pohon tua/tinggi terutama saat kondisi pelepah basah dan licin di musim hujan.

• Kebaharuan/ Novelty

1. Otomatisasi Aviari Polinator: Pengembangan wahana Drone-Assisted Pollination semi-otomatis.
2. Deep Learning di Edge Devices: Klasifikasi tingkat reseptivitas kepala putik (F0, F1, F2) real-time berbasis YOLOv11.
3. Presisi Mikrodosis: Sistem mekanis Aspol-Sprayer dengan pengunci dosis servo otomatis 1 gram per pohon.
4. Navigasi Kanopi Rapat: Fusi sensor IMU-GNSS-BARO berbasis Unscented Kalman Filter (UKF).

• Manfaat Riset

1. Tree counting berbasis satelit untuk pemetaan populasi pohon akurat
2. Deteksi kematangan berbasis multispektral, termal, dan VOC
3. Integrasi estimasi volume dan jumlah tandan matang untuk perhitungan produksi robust

Alur Metodologi dan Hasil Penelitian

Rekayasa Mekanis Sprayer



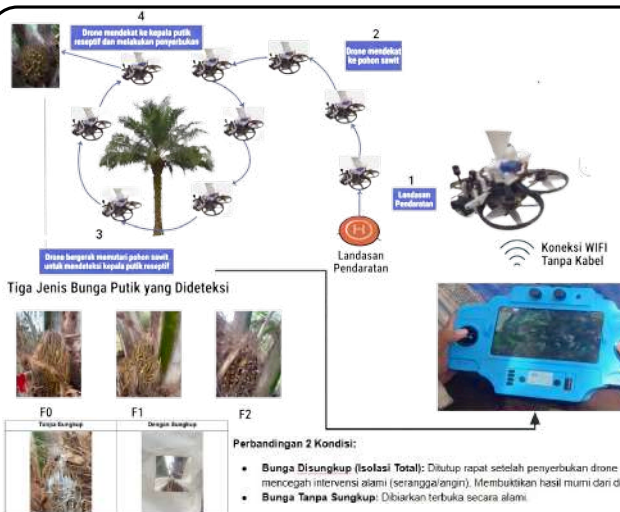
20 g

Kapasitas Tangki
Meningkatkan dan tipe awal yang hanya memuat 12 g.

1 km

Radius Kendali
Transmisi mekanis tangkai untuk area perkebunan terbuka.

Integrasi nozzle bertuding pengarah sukses menjangkau sebaran polen homogen dengan efisiensi area target sapuan bunga mencapai 90-95%. Durasi baterai operasional meningkat menjadi 30 menit.



Sistem AI & Navigasi

Class	mAP50	mAP50-95
all	0.937	0.754
Kepala Putik F0	0.873	0.771
Kepala Putik F1	0.962	0.725
Kepala Putik F2	0.977	0.765

Fusi sensor berbasis filter UKF pada mode terbang LOITER sukses menjaga kestabilan sinyal PWM throttle netral di 1500 μ s. Koreksi elevasi vertikal menggunakan sensor BARO terbukti jauh lebih kontinu daripada GPS vertikal di bawah kanopi.

97,1%

F1-Score YOLOv11
Awaras optimum pemetaan: 100% bunga F1 & F2

93,9%

Precision Model
Tinggi & luas penampang basal positif dibanding YOLOv5e

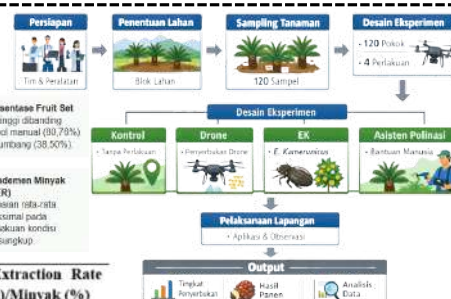
Catatan Peneliti

"Integrasi sistem computer vision real-time YOLOv11 dan teknologi aviari mikro-semprot presisi pada DronePoli sukses menjawab tantangan mekanisasi perkebunan sawit modern."

Validasi Biologis & Mutu



Perlakuan	Buah Normal (%)	Buah Partenokarpi (%)	Oil Extraction Rate (OER)/Minyak (%)
Kontrol/Angin (C)	27,62b	72,38b	25,10ab
E. kamerunicus (E)	38,50b	61,50b	18,96b
Drone (D)	88,23a	11,77a	26,90a
Manual oleh manusia (A)	80,76a	19,24b	27,40a



Aplikasi Drone berhasil menekan pembentukan buah partenokarpi (tanpa biji) hingga titik terendah 11,77%. Kualitas TBS melampaui standarisasi batas minimum keberhasilan agronomis kelapa sawit (>75%).

" INTEGRASI DRONE MULTI SENSOR UNTUK OPTIMASI PROSES PENYERBUKAN KELAPA SAWIT "

31

Pre Breeding dan Speed Breeding Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit untuk Pengembangan Varietas Toleran terhadap Cekaman Kekeringan

Peneliti: Dwi Yono, Heri Adriwan Siregar, Diny Dinarti, dan Sudarsono

Kelapa sawit merupakan sumber minyak nabati terbesar di dunia, tetapi produktivitas aktualnya masih jauh di bawah potensi genetik. Salah satu penyebabnya adalah cekaman kekeringan, seperti pada fenomena El Niño, yang dapat menurunkan produksi tandan buah segar 10–14% pada periode pascakekeringan. Seleksi tetua untuk pengembangan varietas toleran kekeringan dapat dipercepat dengan memanfaatkan pendekatan genomik, baik pada tahap pre-breeding sumber daya genetik (SDG) liar untuk membentuk tetua unggul, maupun pada tahap breeding untuk menghasilkan varietas tenera unggul. Dalam konteks pemanfaatan SDG liar, pendekatan pangenom dapat memperkaya identifikasi variasi genomik yang tidak sepenuhnya terwakili oleh satu genom referensi, sehingga mendukung pengembangan penanda DNA yang lebih relevan untuk toleransi kekeringan. Penggunaan genomik prediction pada kelapa sawit juga dilaporkan berpotensi mempercepat siklus pemuliaan 35–40%. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi genomik berbasis penanda DNA untuk seleksi toleransi kekeringan pada kelapa sawit berdasarkan tanaman toleran dan sensitif hasil seleksi lapangan.

Penelitian menggunakan tiga populasi, yaitu dura Angola (AGO), dura Kamerun (CMR), dan tenera Deli x AVROS (DP). Percobaan pertama memanfaatkan data curah hujan dan produksi lapangan tahun 2014–2018, terutama jumlah tandan (JT), bobot tandan, dan tandan buah segar. El Niño 2015 menyebabkan penurunan curah hujan sebesar 16% di Riau (AGO dan CMR) dan 42% di Kalimantan Selatan (DP). Analisis stabilitas dilakukan menggunakan JT tahun 2016 dan 2017 sebagai periode terdampak kekeringan, serta tahun 2018 sebagai kondisi optimum. Tanaman diseleksi berdasarkan koefisien keragaman individu (CVi) dan indeks toleransi (TOL); tanaman dengan CVi dan TOL rendah dikategorikan lebih toleran karena memiliki JT lebih stabil dan penurunan produksi lebih kecil.

Hasil analisis stabilitas menunjukkan bahwa CVi dan TOL berkorelasi kuat ($r = 0,82$) dan efektif membedakan kelompok toleran dan sensitif. Dari DP diperoleh 24 tanaman toleran dan 34 sensitif, dari AGO 73 toleran dan 28 sensitif, sedangkan dari CMR 57 toleran dan 46 sensitif. Secara keseluruhan, 262 tanaman ekstrem terpilih, terdiri atas 154 toleran dan 108 sensitif. Kelompok toleran pada setiap populasi memiliki JT dan produksi tandan buah segar yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata populasinya pada periode terdampak kekeringan, sehingga stabilitas JT relevan sebagai kriteria seleksi toleransi kekeringan di lapangan.

Analisis genomik pada 262 tanaman terpilih dimulai dengan melakukan whole genome sequencing yang menghasilkan sekitar 28,9 juta SNP, kemudian setelah penyaringan berbasis linkage disequilibrium diperoleh sekitar 1,5 juta SNP yang relatif independen. Rataan heterozigositas sebesar 0,6 menunjukkan tingginya proporsi genotipe heterozigot, sesuai dengan karakter kelapa sawit sebagai tanaman menyerbuk silang. Rataan frekuensi alel minor sebesar 0,3 menunjukkan bahwa data SNP cukup informatif. Analisis komponen utama dan struktur genetik memperlihatkan adanya perbedaan antar ketiga populasi. AGO dan CMR relatif berdekatan, sedangkan DP terpisah lebih jelas. Pola ini menunjukkan bahwa data genomik mampu merepresentasikan keragaman genetik antar populasi dan layak digunakan untuk GWAS serta prediksi genomik.

Prediksi genomik diuji menggunakan 384 kombinasi model yang mencakup jenis data CVi, metode GWAS, strategi pemilihan SNP, jumlah SNP, dan metode genomik prediction. Strategi pemilihan SNP yang dibandingkan adalah genome-wide, random SNP, dan GWAS-based. Validasi internal menunjukkan bahwa pendekatan GWAS-based menghasilkan akurasi lebih tinggi dibandingkan genome-wide dan random SNP, serta mulai stabil pada penggunaan 5.000 SNP prioritas. Pada validasi eksternal menggunakan holdout set 10%, model terbaik diperoleh dari data CVi mentah, metode rrBLUP, dan 5.000 SNP prioritas hasil konsensus GWAS, dengan akurasi prediksi $0,56 \pm 0,06$. Hasil ini menunjukkan bahwa relevansi biologis marker lebih penting dibandingkan penggunaan marker dalam jumlah sangat besar tanpa seleksi.

Anotasi terhadap 5.000 SNP GWAS teratas menghasilkan 1.389 gen kandidat berbasis LOC. Sebanyak 1.048 gen berhasil dipetakan sebagai gen penyandi protein dan menghasilkan 2.118 sekuens protein, dengan 935 protein memiliki anotasi jalur biologis pada basis data KEGG/KAAS. Beberapa kandidat gen terkait dengan respons kekeringan, terutama pada jalur transduksi sinyal hormon tumbuhan dan pensinyalan MAPK. Secara umum, integrasi analisis stabilitas, GWAS, dan prediksi genomik dapat mendukung percepatan pre-breeding SDG liar serta breeding kelapa sawit melalui seleksi tetua berbasis penanda DNA yang lebih efisien. Temuan ini akan divalidasi lebih lanjut menggunakan analisis ekspresi gen pada uji kekeringan terkontrol pada bibit kelapa sawit di rumah kaca.



Pre-Breeding dan Speed Breeding Sumber Daya Genetik Kelapa Sawit untuk Pengembangan Varietas Toleran terhadap Cekaman Kekeringan

Dwi Yono, Heri Adriwan Siregar, Diny Dinarti, Sudarsono*
sudarsono_agh@apps.ipb.ac.id



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026



LATAR BELAKANG

Produktivitas aktual kelapa sawit masih jauh di bawah potensi genetiknya. Cekaman kekeringan seperti El Niño dapat menurunkan produksi tandan buah segar sekitar 10-14% pada periode pascakekeringan. Pendekatan *genomic prediction* berpotensi mempercepat program pemuliaan 35-40% (dalam 2 siklus). Adanya pangenome dapat membantu menangkap variasi genomik SDG liar yang tidak seluruhnya terwakili oleh satu genom referensi.



KEBARUAN PENELITIAN

1. Metode seleksi tanaman toleran dan sensitif kekeringan di lapangan berbasis kestabilan jumlah tandan.
2. Model prediksi genomik toleransi kekeringan berbasis SNP pada kelapa sawit berdasarkan data stabilitas jumlah tandan di lapangan.
3. Integrasi analisis stabilitas jumlah tandan, GWAS, dan *genomic prediction*.
4. SNP prioritas GWAS menunjukkan relevansi biologis terhadap respons kekeringan.

ALUR PENELITIAN DAN HASIL

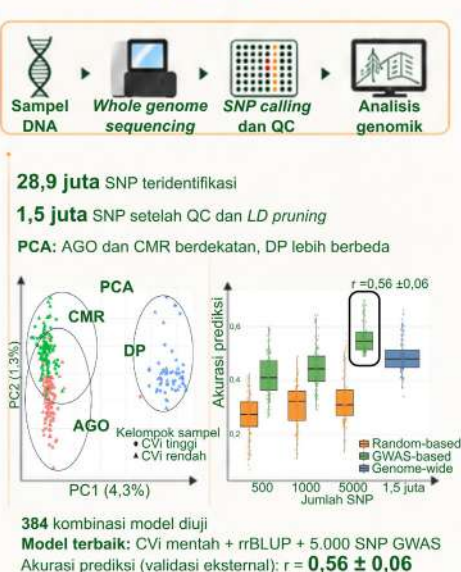
A. Analisis stabilitas lapangan

- 3 populasi:
Dura Angola (AGO),
Dura Kamerun (CMR),
DxP Deli AVROS (DP)
- Data curah hujan dan produksi:
tahun 2014 - 2018
- El Niño tahun 2015
- Seleksi berdasarkan:
Kestabilan produksi (CVI),
Indeks toleransi (TOL)
- 262 tanaman ekstrem terpilih:
154 toleran, 108 sensitif kekeringan

Hasil seleksi tanaman toleran vs sensitif
pada tiga populasi

Populasi	Toleran	Sensitif
AGO	73	28
CMR	57	46
DP	24	34

B. Analisis genomik



C. Validasi lanjutan

- 1.389 gen kandidat dari 5.000 SNP terbaik
- 1.048 gen penyandi protein
- 935 protein berannotasi di KEGG/KAAS
- Gen kandidat banyak terkait jalur transduksi sinyal hormon tumbuhan dan pensinyalan MAPK
- Validasi selanjutnya:
uji kekeringan terkontrol
pada bibit & analisis ekspresi gen

DAMPAK UNTUK RISET DAN PEMULIAAN

- Metode identifikasi tanaman toleran & sensitif kekeringan di lapangan
- Mendukung *genomic selection* & pemuliaan presisi untuk toleransi cekaman kekeringan
- Dasar penanda DNA untuk *pre-breeding* SDG liar
- Mendukung pengembangan varietas toleran terhadap kekeringan

PESAN UTAMA

Integrasi stabilitas produksi, GWAS, dan *genomic prediction* menghasilkan kerangka seleksi berbasis penanda DNA untuk mempercepat pemuliaan kelapa sawit toleran kekeringan. SNP prioritas GWAS, tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi, tetapi juga menunjukkan adanya relevansi biologis dengan teridentifikasinya kandidat gen pada jalur respon kekeringan.

Kolaborasi



PANGAN DAN KESEHATAN

32

RAMAN-QA Software Platform for Palm Oil Quality Analysis

Peneliti: Prof. Dr.-Ing. Drs. Ir. Mitra Djamal, IPU, ASEAN Eng. dan tim peneliti

RAMAN-QA Software Platform for Palm Oil Quality Analysis merupakan platform analisis mutu minyak kelapa sawit (Crude Palm Oil/CPO) berbasis spektroskopi Raman yang dikembangkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Bandung (ITB). Platform ini dirancang untuk menjawab kebutuhan industri kelapa sawit akan sistem pengujian kualitas yang cepat, akurat, dan dapat dilakukan secara langsung di lokasi produksi (on-site). Berbeda dengan metode konvensional yang mengharuskan pengambilan sampel dan analisis di laboratorium, RAMAN-QA memungkinkan pengukuran kualitas CPO secara real-time hanya dengan satu kali pemindaian menggunakan spektrometer Raman yang terintegrasi dengan perangkat lunak analitik cerdas. Hasil analisis dapat diperoleh dalam hitungan detik sehingga operator dapat segera mengambil keputusan operasional tanpa harus menunggu hasil laboratorium.

Keunggulan utama RAMAN-QA terletak pada kemampuannya melakukan monitoring kualitas minyak sawit secara berkelanjutan sepanjang proses produksi. Sistem ini memungkinkan setiap batch minyak, baik pada tahap masuk maupun keluar dari tangki produksi, diperiksa secara cepat tanpa memerlukan preparasi sampel maupun penggunaan bahan kimia tambahan. Pendekatan non-destruktif ini tidak hanya mengurangi biaya operasional dan waktu analisis, tetapi juga meningkatkan frekuensi inspeksi kualitas sehingga potensi produk yang tidak memenuhi spesifikasi (off-spec) dapat dideteksi lebih awal sebelum didistribusikan. Dengan demikian, risiko kerugian akibat penurunan kualitas produk dapat ditekan secara signifikan.

Platform ini juga dilengkapi dengan model kalibrasi yang telah dilatih sebelumnya (pre-trained models) menggunakan data dari berbagai pabrik kelapa sawit. Model tersebut mampu memprediksi parameter mutu utama CPO, seperti kadar air (Moisture), Deterioration of Bleachability Index (DOBI), dan Free Fatty Acid (FFA) dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain menggunakan model bawaan, pengguna juga dapat melakukan penyesuaian (customization) agar sistem sesuai dengan karakteristik proses produksi masing-masing pabrik. Fleksibilitas ini menjadikan RAMAN-QA dapat diimplementasikan pada berbagai kondisi operasi tanpa memerlukan proses kalibrasi yang rumit.

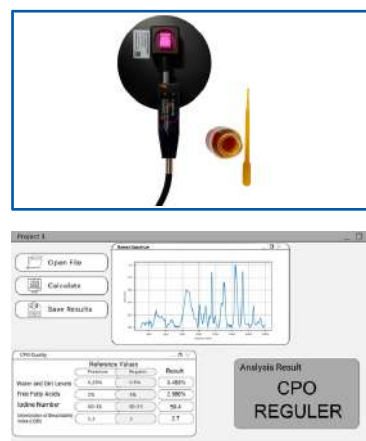
Dari sisi pengguna, RAMAN-QA dirancang dengan dashboard yang sederhana dan intuitif sehingga mudah dioperasikan oleh personel produksi maupun petugas pengendalian mutu. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, dan indikator yang mudah dipahami, disertai notifikasi otomatis apabila parameter kualitas berada di luar batas yang telah ditentukan. Seluruh data pengukuran juga tersimpan secara otomatis sehingga membentuk basis data historis yang lengkap, mendukung proses pelacakan (traceability), audit mutu, serta analisis tren kualitas produksi dalam jangka panjang. Kemampuan pencatatan otomatis ini memberikan transparansi yang lebih baik dalam pengelolaan mutu dan mendukung implementasi digitalisasi industri.

Integrasi antara spektroskopi Raman dan analitik cerdas menjadikan RAMAN-QA sebagai solusi modern yang menggabungkan teknologi optik dengan pemodelan matematis dan pengolahan data. Sistem ini mampu memberikan hasil yang objektif, konsisten, dan dapat direproduksi pada berbagai kondisi produksi. Dengan kemampuan tersebut, RAMAN-QA tidak hanya berfungsi sebagai alat pengujian kualitas, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan (decision support system) yang membantu operator dalam mengoptimalkan proses produksi, mengurangi variasi kualitas, meningkatkan efisiensi operasi, serta meminimalkan kehilangan produk akibat keterlambatan deteksi.

Sebagai solusi teknologi yang dikembangkan di Indonesia, RAMAN-QA memiliki potensi besar untuk mendukung transformasi industri kelapa sawit menuju konsep Smart Palm Oil Mill atau Palm Oil Industry 4.0. Implementasi sistem ini diharapkan mampu meningkatkan daya saing industri melalui pengendalian mutu yang lebih cepat, efisien, dan berkelanjutan. Dengan menghadirkan analisis kualitas secara real-time langsung di lokasi produksi, RAMAN-QA menjadi inovasi yang mampu menjembatani kebutuhan antara kecepatan proses produksi dan keakuratan pengujian laboratorium, sehingga mendukung peningkatan produktivitas, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan kualitas produk minyak kelapa sawit Indonesia di pasar global.

RAMAN-QA Software Platform for Palm Oil Quality Analysis

Real-time Quality Insight — Powered by Raman Spectroscopy



From laboratory accuracy to on-site
intelligence

The RAMAN-QA is a next-generation software solution developed by ITB's Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA) for rapid, on-site monitoring of crude palm oil (CPO) quality. The platform connects seamlessly with on-site Raman spectrometers to deliver instant, reliable insights into critical quality parameters without having to wait for lab analysis.

Monitor Palm Oil Quality in Real Time

Check every incoming and outgoing batch with just one scan, no sampling or chemical preparation required. Get rapid, on-site results directly from the production line and prevent off-spec oil before it leaves the tank. Increase testing frequency without increasing cost or downtime.

Pre-Trained Models for Key Quality Parameters

RAMAN-QA comes ready with reliable calibration models for Moisture, Deterioration of Bleachability Index (DOBI), and Free Fatty Acid (FFA) built from diverse datasets collected across multiple mills. These models are robust, low-maintenance, and can be customized for your specific production profile.

Simple Operation with Smart Dashboard

The intuitive application dashboard makes analysis simple for any operator. Results are displayed instantly in clear visuals, with automatic alerts for out-of-range values. Software updates ensure consistent performance without disrupting operations.

Real-time, on-site measurement

Analyze palm oil quality directly at the production tank, eliminating the need for lab transfer.

Integrated Raman spectroscopy with smart analytics

Combines optical sensing and mathematical models to deliver fast and reliable results.

Continuous monitoring and auto-logging

Every scan is stored and traceable, ensuring consistent and transparent data.

Objective and scalable performance

Provides accurate, reproducible grading across different production conditions.

Faster decisions, fewer losses

Instant feedback helps prevent off-spec batches and improve process efficiency.

33

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI PAKAN TERNAK MELALUI BIOKONVERSI AMPAS NIRA SAWIT OLEH LARVA BSF

Peneliti: Prof. Dr. Ir. Lienda A. Handojo*, M.Eng.; Prof. Dr. Made Tri Ari Penia Kresnowati, S.T., M.Sc.; Prof. Dr. Agus Dana Permana; Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., IPM

Program Peremajaan Sawit Rakyat (PSR) yang diinisiasi oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPD PKS) merupakan strategi peningkatan produktivitas kebun sawit nasional tanpa perlu membuka lahan baru. Produktivitas perkebunan sawit Indonesia yang saat ini masih berkisar 3,68 ton/ha ditargetkan meningkat hingga 10 ton/ha melalui penggunaan bibit unggul dan praktik budidaya berkelanjutan. Namun, target peremajaan seluas 180.000 hektar per tahun diperkirakan menghasilkan sekitar 19,7 juta ton limbah batang sawit setiap tahun. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah ini berpotensi menjadi sumber gangguan lingkungan serta habitat hama dan patogen, seperti *Oryctes rhinoceros* dan *Ganoderma boninense*.

Salah satu bentuk pemanfaatan limbah batang sawit adalah pengolahan menjadi gula sawit yang menghasilkan residu berupa ampas nira sawit (ANS). Penelitian ini mengembangkan teknologi biokonversi ANS menggunakan larva Black Soldier Fly (BSF) sebagai solusi pengelolaan limbah sekaligus menghasilkan produk bernilai tambah. Tantangan utama pemanfaatan ANS adalah tingginya kandungan lignin dan selulosa yang sulit dicerna larva BSF, sehingga diperlukan proses pre-treatment untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi.

Berbagai metode pre-treatment dievaluasi, meliputi fermentasi menggunakan *Aspergillus niger* dan *Aspergillus oryzae*, hidrolisis asam dan basa, serta maserasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi dan hidrolisis mampu mengubah komposisi ANS, tetapi belum mendukung pertumbuhan larva secara optimal. Sebaliknya, metode maserasi memberikan hasil paling menjanjikan, terutama menggunakan Palm Oil Mill Effluent (POME) 20% selama 2–4 hari, larutan mikroba pencernaan selulosa dari rumen sapi 1% selama satu hari, atau air 100% selama satu hari.

Setelah pre-treatment, ANS diperkaya dengan biomassa tambahan seperti Palm Kernel Meal (PKM), solid, umbut, dan azolla untuk mencapai rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) sebesar 29, yang optimal bagi pertumbuhan larva BSF. Biokonversi dilakukan menggunakan larva berumur tujuh hari selama 12–14 hari hingga sebelum fase prepupa. Kinerja media dievaluasi berdasarkan rasio bobot, rasio panjang, dan Waste Reduction Index (WRI).

Formulasi ANS dengan penambahan PKM 1:2 (C/N = 29) menghasilkan pertumbuhan larva terbaik. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap PKM yang ketersediaannya terbatas, dilakukan optimasi lanjutan melalui rancangan ANOVA faktorial dengan meningkatkan proporsi ANS dan memanfaatkan batang sawit segar. Hasil terbaik diperoleh pada formulasi ANS dan PKM seimbang dengan pre-treatment maserasi POME 20%, yang menghasilkan rasio bobot 58, rasio panjang 4,07, dan WRI 4,24, mendekati performa media kontrol komersial.

Larva BSF hasil biokonversi memiliki kandungan protein tinggi, yaitu sekitar 39,4–39,9%, sehingga berpotensi sebagai bahan baku pakan ternak alternatif. Penggunaan larva segar sebagai suplemen pakan ayam kampung mampu menghemat konsumsi pakan hingga 6,7%. Selain itu, larva mengandung minyak sebesar 20,11% dengan komposisi utama asam laurat (34,88%), asam oleat (18,90%), dan asam palmitat (16,35%), yang berpotensi dimanfaatkan pada industri pangan, farmasi, kosmetik, serta bioavtur dan biofuel. Produk samping lainnya berupa kasgot memenuhi standar SNI pupuk organik padat, sedangkan kitin dan kitosan yang dihasilkan masih memerlukan optimasi lebih lanjut.

Untuk mendukung implementasi skala lapangan, telah dirancang unit produksi larva BSF mobile skala pilot seluas 250 m² yang mencakup insektarium, nursery, biopond modular vertikal, dan unit pengolahan media. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa unit ini memiliki Gross Profit Margin (GPM) sebesar 38,42–48,53%. Dengan demikian, teknologi biokonversi ANS menggunakan larva BSF menawarkan solusi ekonomi sirkular yang berkelanjutan untuk pengelolaan limbah sawit, menghasilkan pakan ternak alternatif, mengurangi ketergantungan impor bahan baku pakan, serta meningkatkan nilai tambah sektor agribisnis kelapa sawit Indonesia.



PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI PAKAN TERNAK MELALUI BIOKONVERSI AMPAS NIRA SAWIT OLEH LARVA BSF

Lienda A. Handoyo; Made Tri Ari Penia Kresnowati; Agus Dana Permana; Tanto Pratondo; Daniel Pramudita; Graecia Lugito; Giovanni Arnaldi Sumampouw
E-mail korespondensi: lienda@itb.ac.id; a.lienda73@yahoo.com



PENDAHULUAN

Target replanting 180.000 ha menghasilkan sekitar 19,7 juta ton limbah batang sawit per tahun.

Limbah ini dapat merusak lingkungan dan mengganggu tanaman sawit muda. Limbah dapat dimanfaatkan untuk substitusi kayu, bahan mebel, produksi gula sawit, dan lain-lain.



Gambar 1. Diagram Alir Produksi Nira Sawit dan Potensi Ampas

POTENSI LARVA BSF

- Minyak larva dan biodiesel
- Pakan ternak unggas, ikan, dan pupuk organik
- Biokonversi limbah organik dan kotoran ternak
- Protein, asam amino, asam lemak, kolin, kalsium

Larva BSF berpotensi sebagai sumber protein alternatif setara kedelai, mendukung pengurangan impor kedelai Indonesia yang mencapai 2,27 juta ton pada 2023 (Badan Pusat Statistik, 2024).

METODOLOGI RISET



Pre-treatment

- Fermentasi → Jamur *A. oryzae* & *A. niger*
- Hidrolisis → Larutan asam, basa, enzim selulase, air dengan dan tanpa urea
- Maserasi → Palm Mill Effluent (POME), larutan kaya mikroba pencerna selulosa dari rumen sapi (dekomposer), dan air

*Penggunaan dekomposer berdasarkan penelitian Colagari dkk (2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

KARAKTERISASI AMPAS NIRA SAWIT

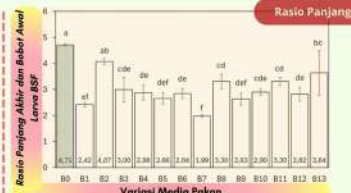
Tabel 1. Hasil Analisis Ultimat dan Proksimat Ampas Nira Sawit

Komponen	Ultimat	Fraksi
Karbon (L)	42,62 ± 4,74	
Nitrogen (N)	0,66 ± 0,08	
Hidrogen (H)	6,43 ± 0,01	
Rasio C/N	65,24 ± 0,30	
Kadar air	7,75 ± 0,03	
Lemak	1,63 ± 0,04	
Protein	2,88 ± 0,01	
Karbohidrat	85,20 ± 0,00	
Kadar abu	2,55 ± 0,05	
Zat Ekstraktif	12,10	
Lignin	12,37 ± 0,17	
Selulosa	46,67 ± 4,75	
Hemiselulosa	15,38 ± 8,86	

Rasio C/N sangat tinggi sehingga perlu diturunkan melalui pre-treatment dan/atau penambahan bahan lain agar rasio mencapai nilai optimum, yaitu 29 (Palma et al., 2019)

Kandungan serat tinggi, sulit dicerna oleh larva BSF sehingga dilakukan pre-treatment

Hasil penelitian menunjukkan pre-treatment terbaik yaitu dengan maserasi



KOMPOSISI LARVA BSF



Gambar 2. Larva BSF setelah Biokonversi

Tabel 3. Hasil Analisis Proksimat dan Serat Kasar Larva BSF setelah Biokonversi

Komponen	ANS: PKM (1:1) POME 20%	Batang Segar: PKM (1:1) POME 20%
Abu (%-db)	18,48	16
Lemak (%-db)	20,11	13
Protein (%-db)	39,41	46
Karbohidrat (%-db)	22,00	25
Serat Kasar (%-db)	17,76	12

Kadar protein yang tinggilarva BSF sangat baik dan sesuai dengan persyaratan mutu pakan ayam ras pedaging dapat digunakan sebagai suplemen pakan ayam.

HASIL BIOKONVERSI OLEH LARVA BSF

Tabel 3. Hasil Rasio Bobot dan Panjang Tertinggi

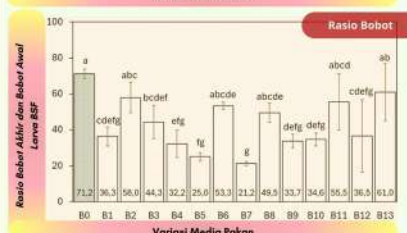
Komponen	WRI	Rasio Bobot	Rasio Panjang
Pakan ayam protein kasar 15% (kontrol)	3,81	9,93	4,05
ANS (Maserasi POME 20%)	1,89	1,53	1,63
ANS : Azolla = 3:1 (Maserasi POME 20%)	1,50	1,59	1,45
ANS : PKM = 1:2 (Maserasi POME 20%)	2,72	2,50	1,79
ANS : Solid = 3:1 (Maserasi POME 20%)	1,41	1,56	1,56
ANS : Azolla : PKM : Solid = 7:1:5:1 (Maserasi POME 20%)	2,04	2,61	2,41

Keterangan: ANS (Ampas Nira Sawit)

Hasil Biokonversi Tahap Addendum

Tahap Screening				Tahap Ekspansi Lanjutan			
Run	Jenis Batang	Larutan	BNR (Jenis Batang : PKM)	Run	Jenis Batang	Larutan	PKM
B1	Ampas Nira	POME 20%	2:1	B9	Ampas Nira	POME 20%	1:1
B2	Ampas Nira	POME 20%	1:1	B10	Batang Segar	Air 100%	1:1
B3	Ampas Nira	Air 100%	1:1	B11	Ampas Nira	Air 100%	1:1,5
B4	Ampas Nira	Air 100%	2:1	B12	Batang Segar	POME 20%	1:1,5
B5	Batang Segar	POME 20%	1:1	B13	Ampas Nira	POME 20%	1:1,5
B6	Batang Segar	POME 20%	2:1				
B7	Batang Segar	Air 100%	2:1				
B8	Batang Segar	Air 100%	1:1				

WRI menunjukkan indeks reduksi limbah yang dimakan oleh larva BSF



Tabel 3. Hasil Analisis Minyak dan Asam Lemak Larva BSF setelah Biokonversi

Komponen	ANS + PKM (Maserasi dengan Air)	Sampah dapur
Kadar Minyak	18,95	20-22,5
Asam Laurat (%)	32,28	45,49
Asam Oleat (%)	22,73	16,41
Asam Palmitat (%)	20,60	19,3

Penambahan PKM atau solid pada media dapat meningkatkan produksi minyak larva BSF dan bersaing dengan larva media pertumbuhan sampah dapur.

Gambar 3. Hasil Minyak Larva BSF

RESIDU BIOKONVERSI

Residu daripada media pertumbuhan (kasgot) hasil biokonversi media campuran ampas nira sawit, azolla, PKM, dan solid memenuhi SNI pupuk organik padat dan berpotensi sebagai pupuk organik.



Gambar 4. Kasgot Hasil Biokonversi oleh Larva BSF



Gambar 5. Pengaplikasian Kasgot sebagai Pupuk

PUBLIKASI

- Handoyo, L. A., Kresnowati, M. T. A. P., Permana, A. D., Utomo, T. P., Sumampouw, G. A., Pramudita, D., Anderson, R., & Fauzani, I. D. (2024). Fungal Fermentation of Oil Palm Trunk Fibers: Influences on Protein Content and C/N Ratio. *International Seminar on Chemistry*.
- Handoyo, L. A., Permana, A. D., Kresnowati, M. T. A. P., Utomo, T. P., Pramudita, D., Sumampouw, G. A., Lugito, C., Anura, S., & Deyyari, N. P. (2024). Transforming Oil Palm Trunk (OPT) Waste into Black Soldier Fly (BSF) Larval Biomass: Investigating pretreatment and enrichment. *Asian Journal of Chemical Engineering*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Impor Kedelai menurut Negara Asal Utama, 2017-2023*. *randahuluan*.
- Colagari, M., Jucker, C., Fusi, M., Leonardi, M. G., Daffonchio, D., Borin, S., Savadelli, S., & Crotti, E. (2020). Hydrolytic Profile of the Culturable Gut Bacterial Community Associated With *Hermetia illucens*. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1965. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01965>
- Palma, L., Fernandez-Rayo, J., Nemeier, D., Piteky, M., & VanderGheynst, J. S. (2019). Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae. *NPI Science of Food*, 3, 15. <https://doi.org/10.1016/j.nfsf.2019.05.007>
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 8299:2016 Pakan Ayam Ras Petelur (SNI 8299:2016)*.

34

Pengaruh Suplementasi Red Palm Oil pada Diet Ibu Hamil terhadap Kualitas Air Susu Ibu dan Outcome Kehamilan

Peneliti: Ratu Ayu Dewi Sartika, Cornelia Lugita Santoso, Syifa Aqliyah, Mikayla Yazmine Thwayya

Latar Belakang:

Kekurangan Vitamin A (KVA) masih rawan terjadi pada ibu hamil dan menyusui selama periode kritis 1000 Hari Pertama Kehidupan (HPK), terutama pada trimester ketiga (TM-3) kehamilan saat kebutuhan janin mencapai puncaknya. Salah satu pendekatan berbasis pangan (food-based approach) lokal yang kaya akan vitamin A dan sangat potensial adalah red palm oil (RPO). Namun, bukti klinis mengenai efektivitas suplementasi RPO pada diet ibu hamil terhadap outcome kehamilan dan kualitas air susu ibu (ASI) masih terbatas.

Tujuan:

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suplementasi red palm oil (RPO) pada diet ibu hamil terhadap kualitas ASI dan outcome kehamilan.

Metode:

Penelitian dilakukan dengan desain quasi-experimental non-equivalent group pada 124 ibu hamil TM-3 yang melakukan kunjungan ANC di puskesmas terpilih (Kabupaten dan Kota Bogor), dengan pembagian kelompok intervensi (mendapatkan sirup RPO) dan kelompok kontrol. Kriteria inklusi: kehamilan tunggal; kriteria eksklusi: kadar hemoglobin <10 g/dL, menderita infeksi klinis berat (TBC, HIV), gangguan fungsi liver, dan gangguan ginjal kronis. Kontribusi asupan vitamin A dalam sehari yang berasal dari sirup RPO mencapai 25-45% AKG. Pengukuran yang dilakukan pada tahap baseline, midline, dan endline meliputi karakteristik ibu (status demografi, sosial ekonomi, paritas, kunjungan ante natal care (ANC), pola makan, konsumsi tablet tambah darah (TTD), status gizi, kadar hemoglobin (Hb), status vitamin A) dan karakteristik bayi (berat dan panjang bayi lahir) serta kualitas ASI (kadar vitamin A).

Hasil:

Kelompok intervensi menunjukkan peningkatan rerata kadar Hb (1,62 g/dL) dan serum retinol (0,64 $\mu\text{mol/L}$) yang signifikan dibandingkan kelompok kontrol (Hb 1,05 g/dL; serum retinol 0,23 $\mu\text{mol/L}$), nilai $p < 0,05$. Ibu hamil anemia berisiko 3,7 kali lebih tinggi mengalami kadar serum retinol 'tidak adekuat' ($< 1,05$ $\mu\text{mol/L}$; 95%CI: 1,264–10,786). Tidak terdapat perbedaan signifikan pada panjang bayi lahir dan kadar vitamin A dalam ASI antara kedua kelompok. Ibu hamil pada kelompok kontrol memiliki risiko melahirkan Bayi Berat Lahir Rendah (BBLR) sebesar 4,4 kali lebih tinggi dibandingkan kelompok intervensi (cOR= 4,4 & aOR=14,6).

Kesimpulan:

Suplementasi sirup Red Palm Oil (RPO) terbukti efektif meningkatkan Kadar Hb & serum Retinol pada ibu secara simultan, serta menurunkan risiko kejadian BBLR ($p < 0.05$).

Saran:

Diperlukan studi intervensi lanjutan untuk mengevaluasi efektivitas suplementasi RPO pada masa menyusui (0-6 bulan) terhadap pertumbuhan bayi yang optimal dan menekan prevalensi malnutrisi anak secara berkelanjutan.

PENGARUH SUPLEMENTASI *RED PALM OIL* (RPO) PADA DIET IBU HAMIL TERHADAP KUALITAS AIR SUSU IBU (ASI) DAN *OUTCOME* KEHAMILAN



Latar Belakang

- Kekurangan Vitamin A (KVA) masih menjadi masalah kesehatan pada ibu hamil, dengan prevalensi sekitar 15% di negara berpendapatan rendah dan menengah serta 17% di Indonesia (UNICEF, 2023).
- *Red palm oil* (RPO) merupakan sumber provitamin A yang berpotensi menjadi bahan baku suplementasi pangan (*food based approach*).
- Bukti klinis mengenai manfaat RPO terhadap *outcome* kehamilan dan diet ibu masih terbatas.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suplementasi *red palm oil* (RPO) pada diet ibu hamil terhadap kualitas ASI dan *outcome* kehamilan

Metode Penelitian

Desain Studi:
Quasi-experimental
non-equivalent
group

Sampel:
124 bumil TM-3 di wilayah puskesmas terpilih (Kota dan Kabupaten Bogor) yang dibagi menjadi kelompok intervensi (sirup RPO 25-45% AKG) dan kelompok kontrol.



Tahap Pengambilan Data



Hasil Penelitian

Dampak Suplementasi RPO pada Ibu

Variabel	Kelompok	Pra-intervensi	Pasca-intervensi	Peningkatan Rata-Rata ^a (min-max)
		Mean ± SD (min-max)	Mean ± SD (min-max)	
Hemoglobin (g/dL)	RPO (n=61)	11.53 ± 0.82 (10.10-13.30)	13.15 ± 0.98* (11.2-15.9)	1.62 ± 1.14* (0.70-5.20)
	Kontrol (n=59)	11.80 ± 0.83 (10.10-13.80)	12.84 ± 1.09* (10.10-15.2)	1.05 ± 0.84 (0.80-2.60)
Retinol serum (μmol/L)	RPO (n=49)	1.67 ± 0.79 (0.66-5.28)	2.31 ± 0.69* (1.26-4.27)	0.64 ± 0.92* (-1.26-2.93)
	Kontrol (n=56)	1.96 ± 0.86 (0.55-4.40)	2.19 ± 0.69 (0.93-3.75)	0.23 ± 0.84 (-1.48-2.36)

*p < 0.05
^aRerata ± SD



Peningkatan rerata kadar Hb dan serum retinol pada kelompok intervensi 'lebih tinggi' dibandingkan kelompok kontrol, dengan nilai p<0,05.



Ibu hamil yang anemia (<11 g/dl) berisiko 3.7 kali lebih tinggi untuk memiliki kadar serum retinol 'tidak adekuat' (< 1.05 μmol/L) dibandingkan ibu hamil yang tidak anemia (95% CI 1.264-10.786).

Dampak Suplementasi RPO terhadap Outcome Kehamilan

Variabel	Red Palm Oil (n=61)	Kontrol (n=59)	p-value (95% CI)
	Mean±SD (min-max)	Mean±SD (min-max)	
Berat lahir (g)	3,077 ± 481.05 (1765-4390)	2,938 ± 507.78 (1193-4100)	0.125 (-318.233;39.289)
Bayi BBLR (%)	4.9	18.6	0.019* (1.169;16.797)
Panjang lahir (cm)	48.32 ± 2.32 (39-57)	47.79 ± 2.55 (40-52)	0.242 (-1.405;0.358)
Bayi lahir pendek (%)	31.7	34.5	0.743 (0.523;2.479)
Vitamin A dalam ASI (mcg/L)	70.260 ± 46.701 (17.0-311.0)	69.681 ± 67.835 (13.0-399.0)	0.961 (-23.936;22.778)
Usia kehamilan (minggu)	37.86 ± 2.14 (30-46)	37.80 ± 1.97 (30-41)	0.871 (-0.684;0.806)

*p < 0.05



Meskipun tidak ada perbedaan signifikan pada panjang bayi lahir dan kadar vitamin A ASI kedua kelompok, kelompok kontrol menunjukkan risiko kejadian BBLR sebesar 4,43 kali lebih tinggi dibandingkan kelompok intervensi.

Kesimpulan

Pemberian suplementasi sirup *red palm oil* (RPO) berpotensi menjadi salah satu strategi alternatif untuk meningkatkan status vitamin A dan hemoglobin ibu serta menurunkan risiko kejadian BBLR

Saran

Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi pengaruh suplementasi RPO pada ibu menyusui terhadap pertumbuhan bayi usia 0-6 bulan

Tim Peneliti

Ratu Ayu Dewi Sartika
(ratuayu.fkm.ui@gmail.com)
Cornelia Lugita Santoso
(cornelialugitasantoso@gmail.com)
Syifa Aqliyah
(syifaaqliyah@gmail.com)
Mikayla Yazmine Thwayya
(mikayla.yazmine@ui.ac.id)



Kata kunci: *red palm oil*, ibu hamil, serum retinol, anemia, BBLR



KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

PASCA PANEN DAN PENGOLAHAN

35

Desain dan Implementasi Robot Pengumpul Brondolan Buah Sawit Berbasis Mechatronics Dengan Sistem Deteksi dan Klasifikasi Kondisi Buah Berbasis Artificial Intelligence

Peneliti: Prof. Dr. Ir. Indrabayu S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM., ASEAN Eng. dan tim peneliti

Pengumpulan brondolan buah sawit merupakan tahapan penting dalam proses panen karena berpengaruh langsung terhadap produktivitas dan mutu hasil kelapa sawit. Praktik pengumpulan saat ini masih banyak dilakukan secara manual atau menggunakan alat bantu sederhana yang memiliki keterbatasan efisiensi, kapasitas kerja, dan konsistensi pengoperasian. Kondisi lapangan perkebunan yang tidak rata, keberadaan lumpur, akar, pelepah, dan objek non brondolan lainnya menjadi tantangan dalam memastikan efektivitas proses tersebut. Selain itu, alat pengumpul konvensional juga berpotensi merusak buah sawit, yang berdampak pada peningkatan kandungan Asam Lemak Bebas dan penurunan kualitas hasil panen secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe robot pengumpul brondolan buah sawit berbasis mekatronika yang dilengkapi mekanisme pengumpulan mekanis dan sistem deteksi berbasis artificial intelligence. Fokus utama penelitian mencakup pengembangan sistem mobilitas robot, penyempurnaan mekanisme pengumpulan brondolan, implementasi sistem kendali, serta penerapan sistem persepsi visual berbasis deep learning untuk mendukung deteksi objek. Dua mekanisme utama diuji pada penelitian ini, yaitu mekanisme vakum untuk menghisap brondolan secara langsung dan mekanisme roller sebagai alternatif dengan konsumsi daya lebih rendah serta kemampuan operasi yang lebih stabil pada medan perkebunan.

Prototipe robot dirancang menggunakan rangka aluminium dengan sistem suspensi empat roda tipe swing arm untuk menjamin stabilitas dan mobilitas di berbagai kondisi medan. Sistem penggeraknya ditopang oleh empat motor brushless DC dengan daya nominal sekitar 1000 Watt dan kecepatan putaran 20.000 hingga 25.000 rotasi per menit. Sistem kendali dioperasikan melalui mikrokontroler Arduino R4 dan radio remote control frekuensi 2.4 GHz.

Pengujian menunjukkan bahwa robot ini mampu bergerak secara konsisten dengan kecepatan uji rata-rata mencapai 0,5 hingga 1,5 meter per detik menggunakan ban berdiameter 28 sentimeter dan lebar 8 sentimeter pada area komersial.

Mekanisme vakum yang menggunakan mesin 1000 Watt dan selang berdiameter 1.5 hingga 2 inci mampu mengumpulkan brondolan dengan laju 1,02 butir per detik. Namun, tekanan hisap menurun drastis ketika selang tertekuk, terseret, atau melewati area berserasesah. Untuk menutupi kelemahan tersebut, dikembangkan mekanisme roller bersistem sikat berputar. Mekanisme ini terbukti memiliki produktivitas kerja yang jauh lebih efisien, mencapai 0,30 hingga 0,50 hektar per jam, dibandingkan mekanisme vakum yang hanya mencatat angka 0,15 hingga 0,25 hektar per jam pada kondisi medan serupa.

Selain komponen mekanik, penelitian turut mengembangkan sistem deteksi brondolan berbasis computer vision menggunakan model YOLOv5s, YOLOv7 tiny, dan YOLOv8s. Dari dataset sejumlah 6.926 citra yang meliputi objek daun kering, brondolan, dan batu, model YOLOv5s menunjukkan performa paling unggul. Model tersebut berhasil memperoleh nilai mAP50 sebesar 0,713, nilai mAP50:95 sebesar 0,537, dan kecepatan inferensi 130,06 milidetik per frame, serta mumpuni membedakan objek pada berbagai tingkat pencahayaan di area kelapa sawit.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe robot yang dikembangkan mampu melakukan proses pengumpulan secara efisien. Pengembangan mekanisme roller, optimasi suspensi, dan integrasi sistem persepsi visual memberikan peningkatan stabilitas operasi yang signifikan. Penelitian ini sukses menghasilkan dua unit prototipe robot fisik, publikasi pada jurnal internasional JOIV, serta perolehan hak kekayaan intelektual Desain Industri sebagai landasan dasar otomasi perkebunan yang adaptif dan berkelanjutan di masa depan.

DESAIN DAN IMPLEMENTASI ROBOT PENGUMPUL BRONDOLAN BUAH SAWIT BERBASIS MECHATRONICS DENGAN SISTEM DETEKSI DAN KLASIFIKASI KONDISI BUAH BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE

1 LATAR BELAKANG



Indonesia = produsen sawit terbesar dunia



Banyak brondolan tertinggal



Pengumpulan manual membebani fisik

2 TUJUAN PENELITIAN



Merancang robot pengumpul brondolan berbasis mekatronika



Mengembangkan dua mekanisme pengumpulan: vakum & roller



Mengevaluasi kinerja robot pada kondisi kebun sawit nyata

3 KONSEP SISTEM DAN ROBOT

Spesifikasi Robot Vakum



- Daya motor vakum: ± 1000 W
- Flow rate: ± 8 m³/menit
- Tekanan negatif: ± 16 – 18 kPa
- Diameter hose: 1.5" & 2", panjang 2.5 m
- Wadah penampung: ± 50 – 80 L

Spesifikasi Robot Roller



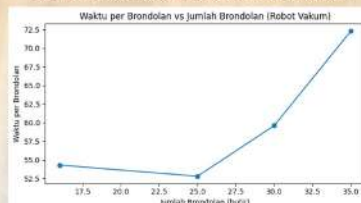
- Kecepatan operasi: 0.5–1.5 m/s
- Waktu per pohon: 45–60 detik
- Cakupan area: ± 0.7 – 1 ha / 120 menit
- Konsumsi daya total: ± 1000 W (motor + roller + servo + elektronik)

4 PROTOTIPE ROBOT

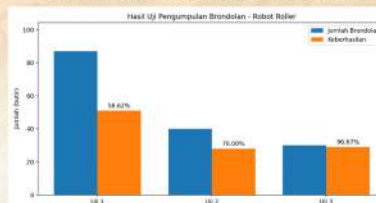


5 HASIL KINERJA

Hasil Uji Pengumpulan Brondolan - Robot Vakum



Hasil Uji Pengumpulan Brondolan - Robot Roller



6 IMPLEMENTASI AI

Model	mAP50	mAP50:95	Jumlah Parameter	Waktu Inferensi
YOLOv5s	0.713	0.537	7,018,216	130.06
YOLOv7-tiny	0.591	0.418	6,012,040	145.57
YOLOv8s	0.636	0.483	11,126,745	303.58



7 KESIMPULAN

Penerapan mekanisme roller pada robot terbukti menghasilkan **performa dan efisiensi yang lebih baik dalam mengurangi beban kerja manual**, sekaligus membuka peluang pengembangan sistem ke arah semi-otomatis atau berbasis AI di masa depan.

8 ARAH PENGEMBANGAN

- Navigasi Semi-Otomatis
- Optimasi desain vakum hose & roller
- Skala pengujian industri

36

EGREK DIGITAL: INISIATIF SUBSTITUSI IMPOR DAN PENINGKATAN EFISIENSI PANEN TBS KELAPA SAWIT

Peneliti: Erwin Widodo, Widyastuti, Berlian Al Kindhi, Ratna Sari Dewi, Retno Widyaningrum, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Indonesia memiliki luas lahan kebun kelapa sawit terbesar di dunia. Sayang sekali, keunggulan modal alam ini belum diimbangi dengan produktivitas pengelolaannya. Termasuk pada tahap/proses panen tandan buah segar (TBS) kelapa sawit. Bahkan, sebuah fakta yang miris, peralatan sederhana proses panen yang sering disebut egrek (harvesting sickle) mayoritas masih merupakan produk impor. Hanya sekitar 27% sampai 35% saja egrek yang beredar di pasaran adalah produksi dalam negeri. Selain itu, perilaku para buruh panen sawit yang cenderung untuk memotong semua TBS sesuai kuantitas yang ditargetkan juga menjadi hambatan yang signifikan dalam upaya peningkatan produktivitas panen. Para buruh kurang mepedulikan apakah TBS belum masak, tepat masak, ataupun sudah terlalu masak. Praktek panen seperti ini akan berdampak pada besarnya rejection rate dari TBS sesampainya nanti di fasilitas pengolahan crude palm oil (CPO). Hal ini berdampak sekitar 25% sampai 40% penurunan produktivitas panen sawit.

Untuk menjawab tantangan ini, penelitian ini mengusulkan product bundle berupa egrek digital yang terdiri dari 3 modul yakni: bilah egrek, galah egrek dan detektor kematangan TBS. Pada saat komersialisasi nantinya, produk ini bisa dijual secara terpisah (individual modul), bundle sebagian (dua modul), maupun bundle lengkap (tiga modul).

Hal ini dimaksudkan untuk menonjolkan aspek fleksibilitas penjualan sehingga mampu disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Semangat substitusi impor dijawab oleh bilah egrek yang lebih ekonomis dengan kualitas minimal sama dengan produk impor. Peningkatan efisiensi panen dijawab melalui analisis dan desain ergonomis galah egrek dengan mengedepankan konsep biomekanika-nya. Minimasi loses pada saat proses panen diantisipasi oleh detektor kematangan TBS. Hasil sementara yang didapat pada tahun pertama ini adalah prototype bilah, galah dan ripeness detector. Untuk prototype bilah, galah, dan ripeness detector telah dilakukan beberapa iterasi. Untuk bilah, iterasi desain dan prototype telah dilakukan sampai versi 5. Untuk galah, iterasi desain dan prototype telah dilakukan sampai versi 3 dan ditambahkan mekanisme handle pegas. Untuk ripeness detector, iterasi desain dan prototype telah dilakukan sampai versi 7. Pengujian prototype telah dilakukan di kebun sawit yang ada di Blitar, Banten, Kalimantan (Pelaihari), dan Sumatera (Riau) dan memberikan hasil yang signifikan. Perencanaan kegiatan dan anggaran untuk penelitian Egrek Digital ini telah dilaksanakan dengan baik sesuai jadwal serta memberikan hasil yang signifikan sesuai target yang direncanakan.

EGREK MERAH PUTIH untuk SAWIT BAIK



Egrek Digital

Upaya Peningkatan Efisiensi Panen dan Substitusi Impor Egrek Nasional



Erwin Widodo, Widyastuti, Retno Widyaningrum, Berlian Al Kindhi, Ratna Sari Dewi, Fitri Nuraini Setiowati

Temuan Masalah

Rasio Produksi/Luas lahan Indonesia lebih rendah dibanding negara pesaing (**2.937 Ton/Ha**)

+/- **67%** egrek yang beredar di pasaran adalah **imported dari Malaysia**

Target Penelitian

mengevaluasi serta mengidentifikasi kebutuhan operator pemanenan perkebunan kelapa sawit

perancangan **prototipe alat bantu panen** kelapa sawit berfokus pada **bilah, galah, dan ripeness detector**



Egrek digital merupakan produk alat bantu panen kelapa sawit terintegrasi yang terdiri dari bilah, galah, dan pendeteksi kematangan.

V1: Desain berdasar standarisasi SNI

Pembentukan House of Quality untuk penentuan respon teknis yang signifikan

V4.1 - 4.2: Penyempurnaan desain

Bilah membutuhkan 3-4 tarikan. Tetapi, masih terlalu mudah deformasi

V2: Eksperimentasi pada sudut O

Bilah belum mampu memotong pelepah ataupun tandan

V5: Desain final uji Alfa (Tahun 1)

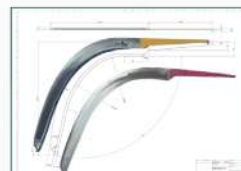
Bilah membutuhkan 2-3 tarikan, mampu bersaing dengan bilah impor

V3: Pengerucutan opsi sudut O

Bilah membutuhkan >10 tarikan untuk memotong setiap pelepah dan tandan

V6: Perbaikan profil ujung nonong

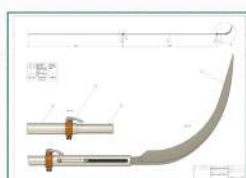
Bilah mudah memotong dan bentuk sudah sesuai keinginan pemanen



Bilah v7: Bilah dengan desain SNI dan morfologi (seamless, ujung nonong, sudut) mewakili kebutuhan pemanen Indonesia. Disempurnakan manufaktur yang terkontrol.

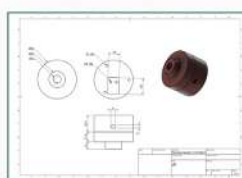
Specification: Design according to SNI, Japanese Spring Steel (JSS) material

EGREK MERAH PUTIH melalui beberapa versi iterasi desain, dan mencapai desain ideal pada v7



Galah v3: Galah serta berbagai aksesoris klem untuk fleksibilitas selama pemanenan berlangsung

Specification: Aluminum main material, with optional connecting clamp and modular blade clamp.



Ripeness Detector v8: Pendeteksi kematangan kelapa sawit yang portabel dan mudah digunakan

Specification: Using a CCTV camera connected wirelessly to an Android device.



Detection up to

98 % level of accuracy

The **Ripeness Detector** feature can detect FFB ripeness with up to **98% accuracy**, enabling **significant improvements in oil palm harvesting**.

Results: Our research progress

Egrek Digital: part of the 2023-2025 GRS palm oil research

Uji Alfa 3 Pulau Indonesia
Matangselatan, Bitar, Banten,
Pelabuhan, dan Siak



Test Focus: Java area harvester needs
Digital Egrek Reliability, Training Data

Uji Beta Banten, Kalimantan, dan
Riau
Banten, Riau, dan Balikpapan



Fokus: Uji: Harvester needs in
Kalimantan and Sumatra, Data Training

Laboratory Testing:
Laboratorium MHT dan PT. Smarttech
2007



Testing Focus: Force requirement for
angle O, Egrek Material Quality Test

Uji Pasar:
Yogyakarta, Riau (Pekanbaru),
Kalimantan (Balikpapan)



Testing Focus: Force requirement for
angle O, Egrek Material Quality Test

Capaian Target

- **Prototipe Terintegrasi:** Berhasil mengembangkan prototipe Egrek Digital final yang mengintegrasikan bilah v7, galah teleskopik y3, dan ripeness detector v8.
- **Kekayaan Intelektual & Publikasi:** Mengamankan 3 Hak Cipta, 1 Desain Industri, pendaftaran Paten, serta penyelesaian draf publikasi untuk jurnal internasional bereputasi.
- **Kesiapan Model Bisnis:** Menuntaskan analisis finansial komprehensif (HPP, BEP, ROI) dan menetapkan strategi penetrasi pasar B2B melalui proyek korporasi perkebunan sawit.

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



37

Prototipe Gerobak Sorong (Wheel Barrow) Bertenaga Listrik DC untuk Meningkatkan Orgonomi Dan Produktifitas Sumber Daya Pada Perkebunan Rakyat Kelapa Sawit

Peneliti: Dr. Lila Yuwana dan tim peneliti

Dalam kurun waktu 6 bulan setelah tanda tangan kontrak GRS 2023, tim kami telah menyelesaikan pembuatan 2 (dua) produk gerobak listrik. Telah berhasil diuji coba di kampus untuk mengangkut beban seberat 100 kg. Untuk jalan mendatar, tinggal memutar handle gas saja dan mengarahkan gerobak listrik, tanpa mengeluarkan usaha untuk mendorong, walaupun dijalankan pada perkebunan. Namun untuk dataran yang miring, masih memerlukan usaha untuk mendorong. Hal ini sejalan dengan hasil uji lapangan di perkebunan Instipor di Semarang, dimana untuk mendorong bidang miring sampai dengan 40o dilakukan tanpa mengeluarkan usaha. Lebih lanjut, dari uji laboratorium untuk tes kelelahan, diperoleh bahwa gerobak listrik telah mengurangi tenaga petani sawit secara signifikan untuk mengangkut dan mendorong TBS di perkebunan sawit. Gambar Gerobak Listrik yang dihasilkan pada 6 bulan pertama riset dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Dua gerobak listrik yang dihasilkan dalam 6 bulan pertama riset.

Selanjutnya, setelah monev I tahun ke-1, tim periset mendapat banyak masukan untuk pengembangan gerobak listrik agar dapat dimanfaatkan lebih banyak. Diantaranya, bak gerobak dapat dibuat berperforasi, jarak rem cakram dengan tanah dibuat lebih tinggi, dan dapat digunakan untuk alat transportasi petani sawit. Dari tim periset, gerobak listrik akan dikembangkan agar dapat ditarik motor untuk membawa dari rumah ke perkebunan yang jaraknya relatif jauh serta mampu membawa beban sekitar 100 kg lebih di lintasan miring.

Dengan pemilihan motor 24 V 600 W, untuk torsi besar namun kecepatan masih relatif cepat untuk didorong, gerobak listrik yang diproduksi setelah Monev I Tahun ke-1 (Gambar 2) telah berhasil meningkatkan performanya secara signifikan. Dengan gerobak listrik ini, kita dapat mengangkut beban berat meskipun pada bidang miring tanpa mengeluarkan usaha. Dalam menanggapi tantangan dari para reviewer pada monev I, tim periset telah merevisi desain dari gerobak listrik. Sebagai contoh, roda diubah ke ring 14 semi trail. Bak gerobak dibuat berperforasi dengan penutup sehingga dapat diatur sesuai kebutuhan. Telah dibuat piranti portable seperti skuter yang memungkinkan seseorang dapat naik di atasnya dan dapat ditarik oleh gerobak listrik. Dan juga, gerobak listrik dibuat pengait fleksibel yang memungkinkan gerobak listrik dapat ditarik oleh motor.

Perkembangan terakhir, gerobak listrik dilengkapi sistem transduser berat serta modul GPS yang memungkinkan gerobak listrik dapat mengetahui berapa kg beban yang diangkut serta berapa jarak yang ditempuh, durasi waktu pergerakan dapat disimpan di database dan dapat diambil melalui interface USB. Kekuatan gerobak listrik saat ini mampu mengangkut hingga 270 kg TBS sawit di dataran miring dan berlumpur.



Gambar 2. Gerobak listrik yang telah ditingkatkan unjuk kerjanya



ELECTRIC WHEEL BARROW: ALAT BANTU ANGKUT TBS PETANI



Alat angkut TBS



Transportasi sederhana



Pengait ke motor

Spesifikasi

- Motor DC Brushed 24 V, 600 W
- Kopling Elektronik
- Kontroler Motor 24 V, maju dan mundur
- Baterai Li 24 V, 22 Ah
- Kerangka Besi Baja Galvanis
- Rem Hidrolik Cakram Double
- Roda Semi Trail R. 14
- Bak plat tertutup dan perforasi
- Gardan untuk 2 roda depan
- Daya jelajah ~ 39 km (sekali charge)

INOVASI

Kontroler dilengkapi untuk gerak maju-mundur, serta kopling elektronik agar motor aman ketika ditarik motor

Pemilihan motor (torsi kuat-kecepatan masih relatif cepat) agar kuat sebagai alat transportasi sederhana

Gardan (diferensial), untuk mempermudah manuver ketika belok



unjuk
kerja



perisai
2023



lila@its.ac.id



<https://www.its.ac.id/psf/id/>



DRPM - ITS, Surabaya



081235000559 (Lila Yuwana)

ANGELO BREWING



Lila Yuwana
Theoretical and Applied
Physics ; Instrumentation



Sutikno
Mechanical
Engineering



Yudha Prasetyawan
Industrial
Engineering



Taufiq Fajar N
Mechanical and
Naval System

Tim:

38

Aplikasi Drone Sebagai Pemotong Pelepah dan Buah Kelapa Sawit

Peneliti: Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. dan tim peneliti

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian nasional Indonesia yang menyumbang devisa besar sekaligus menyerap jutaan tenaga kerja di berbagai wilayah. Meskipun demikian, proses pemangkasan pelepah dan pemanenan tandan buah segar hingga saat ini masih sangat bergantung pada tenaga kerja manusia yang berisiko tinggi, tidak efisien, dan rentan terhadap kecelakaan kerja akibat kondisi lapangan yang sulit dijangkau. Kesenjangan antara kebutuhan produktivitas yang terus meningkat dan keterbatasan kapasitas tenaga kerja konvensional mendorong urgensi pengembangan teknologi otomasi berbasis kecerdasan buatan. Penelitian ini menghadirkan solusi berupa sistem drone otonom yang dirancang secara khusus untuk menjawab tantangan tersebut dengan mengintegrasikan teknologi sensor, navigasi presisi, dan algoritma AI dalam satu platform terbang yang andal, efisien, dan terukur.

Drone yang dikembangkan merupakan konfigurasi quad copter empat motor berkapasitas angkut hingga 25 kg, dilengkapi sistem navigasi GPS RTK dan IMU untuk menjamin presisi gerak di lingkungan perkebunan yang dinamis dan tidak beraturan. Perangkat sensor yang dipasang meliputi kamera RGB, LiDAR, dan ultrasonik yang secara kolektif mendukung kemampuan deteksi dan identifikasi target secara real-time dalam berbagai kondisi cahaya dan vegetasi. Sistem pemotong menggunakan kombinasi circular saw dan pruner yang dapat dioperasikan secara autonomous maupun remote control, dengan kapasitas baterai 30.000 mAh yang memungkinkan waktu terbang efektif 20-25 menit per siklus operasional. Kedelapan komponen utama drone-antena GPS RTK, kamera AI, motor penggerak, baterai kapasitas tinggi, frame quadcopter, sistem pemotong, unit komputer kontrol penerbangan, dan landing gear-dirancang secara terintegrasi untuk menghasilkan performa optimal, stabilitas tinggi, dan kemudahan perawatan di kondisi lapangan perkebunan.

Hasil pengujian lapangan menunjukkan capaian yang sangat signifikan dan terukur. Drone mampu melaksanakan pemotongan pelepah sekaligus pemanenan buah dengan tingkat keberhasilan di atas 90%, melampaui ekspektasi awal yang ditetapkan dalam protokol penelitian. Kecepatan pemotongan meningkat sebesar 40% dibanding metode konvensional, sementara sistem deteksi berbasis AI mengidentifikasi pelepah dan tandan buah segar dengan akurasi lebih dari 92%.

Rata-rata waktu pemotongan per satu pohon berkisar antara 10 hingga 15 menit, mencakup seluruh tahapan mulai dari deteksi target, manuver pendekatan, eksekusi pemotongan, hingga penarikan sistem pemotong pasca-operasi. Konsistensi waktu operasional ini mencerminkan keandalan drone dalam berbagai kondisi lapangan yang beragam, sekaligus memungkinkan perencanaan jadwal pemangkasan massal secara terstruktur, terukur, dan efisien pada skala perkebunan yang luas.

Dari aspek keselamatan dan ekonomi, penerapan teknologi drone ini secara nyata menurunkan risiko kecelakaan kerja hingga 70% dibandingkan metode konvensional yang menempatkan pekerja pada posisi berbahaya di ketinggian pohon sawit. Pengurangan eksposur risiko ini tidak hanya berdampak langsung pada keselamatan tenaga kerja, tetapi juga mengurangi beban biaya kompensasi dan asuransi yang selama ini menjadi komponen signifikan dalam struktur biaya operasional perkebunan. Efisiensi biaya keseluruhan meningkat melalui pengurangan kebutuhan tenaga kerja manual, minimalisasi waktu henti produksi, serta lonjakan produktivitas pemanenan yang terukur. Manfaat ganda ini menjadikan inovasi drone sebagai solusi yang secara ekonomis layak, secara teknis andal, dan secara sosial bertanggung jawab untuk diterapkan pada skala perkebunan komersial.

Penelitian ini dilaksanakan oleh tim peneliti Universitas Hasanuddin yang terdiri atas Prof. Ir. Salengke, M.Sc., Ph.D., Dr. Abdul Azis, STP., M.Si., Ahmad Fauzan Adzima, S.P., M.Sc., Lukman Kasim, ST., MT., dan Rudi, ST., MT., di bawah koordinasi Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc. selaku ketua peneliti dari Laboratorium Mekatronika dan Robotika, Fakultas Teknik Unhas, dengan dukungan pendanaan Badan Pengelola Dana Perkebunan (BPDP) melalui LPPM Universitas Hasanuddin. Keberhasilan penelitian ini membuktikan bahwa kolaborasi antara perguruan tinggi, lembaga riset, dan badan pendanaan nasional mampu melahirkan inovasi teknologi yang relevan, berdampak luas, dan siap diimplementasikan di lapangan. Secara keseluruhan, inovasi drone pemotong pelepah dan pemanen buah kelapa sawit ini merupakan terobosan strategis yang memperkuat daya saing industri perkebunan nasional sekaligus mendorong transformasi pertanian Indonesia menuju era otomasi cerdas yang aman, efisien, presisi, dan ramah lingkungan.



APLIKASI DRONE SEBAGAI PEMOTONG PELEPAH DAN BUAH KELAPA SAWIT

Inovasi Teknologi untuk Perkebunan Sawit yang Aman, Efisien, dan Berkelanjutan



AMAN

Mengurangi risiko kecelakaan kerja di lapangan



EFISIEN

Meningkatkan produktivitas hingga 30-40%



PRESISI

Pemotongan tepat sasaran dengan teknologi AI dan sensor

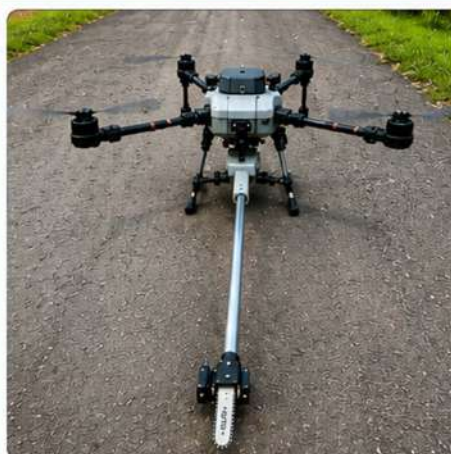


RAMAH LINGKUNGAN

Mengurangi emisi dan jejak karbon

SPESIFIKASI DRONE

Tipe Drone	: QUAD COPTER 4 MOTOR
Daya Angkut	: 25 KG
Waktu Terbang	: 20 – 25 menit
Sistem Navigasi	: GPS RTK + IMU
Sensor	: Kamera RGB, LIDAR, Ultrasonik
Sistem Pemotong	: Chainsaw (Pisau Rantai)
Sistem Kontrol	: Autonomous + Remote Control
Baterai	: 30.000 mAh



DRONE DALAM PERAKITAN



HASIL POTONG PELEPAH



KETERANGAN BAGIAN DRONE

- 1 GPS Antenna (RTK) – Navigasi presisi tinggi
- 2 Kamera & AI Vision – Deteksi target (pelepa/buah)
- 3 Motor & Propeller – Penggerak utama (4 motor)
- 4 Baterai High Capacity – Sumber daya utama
- 5 Sistem Pemotong (Chainsaw) – Pemotong pelepa dan pemanen buah
- 6 Sistem Komputer & Kontrol Penerbangan – Autonomous + Remote Control
- 7 Landing Gear – Kaki pendarat stabil
- 8 Frame Quadcopter – Struktur utama drone



HASIL PENELITIAN

- ✓ Drone mampu memotong pelepa dan memanen buah dengan tingkat keberhasilan > 90%.
- ✓ Waktu pemotongan pelepa lebih cepat 40% dibanding metode konvensional.
- ✓ Sistem AI mampu mendeteksi target (pelepa/buah) dengan akurasi > 92%.
- ✓ Penggunaan drone dapat menurunkan risiko kecelakaan kerja hingga 70%.
- ✓ Biaya operasional lebih hemat dan produktivitas meningkat.

MANFAAT DAN DAMPAK



Meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja



Meningkatkan produktivitas dan efisiensi biaya



Mendukung keberlanjutan perkebunan sawit



Mendukung program Perkebunan Berkelanjutan

NAMA ANGGOTA TIM

- 1 Prof. Ir. Salengke, M.Sc., Ph.D
- 2 Dr. Abdul Azis, STP., M.Si
- 3 Ahmad Fauzan Adzima, S.P., M.Sc
- 4 Lukman Kasim, ST., MT.
- 5 Rudi, ST., MT.

KETERANGAN PENELITIAN

Aplikasi drone sebagai pemotong pelepa dan buah kelapa sawit merupakan terobosan teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi, menurunkan risiko kerja, dan mendukung pengelolaan perkebunan sawit yang berkelanjutan. Inovasi ini siap diimplementasikan untuk mendorong hilirisasi dan daya saing industri sawit nasional.

KETUA PENELITIAN

Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc.
LPPM Universitas Hasanuddin
☎ +62 813 4211 0474
✉ andijoyo@unhas.ac.id
🏠 Laboratorium Mekatronika dan Robotika
🏢 Fakultas Teknik – Universitas Hasanuddin
📍 Jl. Poros Malino Km. 6, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia



Bersih



Akuntabel



Integritas



Kesempurnaan

39

Truk Cerdas Pemuat Tandan Buah Segar Kelapa Sawit

Peneliti: Dr. Ir. Andreas W. Krisdiarto, M.Eng., Eko Aris Budi Cahyono, ST., M.Eng., Teddy Suparyanto SPd, MTI., Irya Wisnubhadra, ST, MT., Ph.D

Meskipun di beberapa perusahaan telah diaplikasikan metode evakuasi tandan buah segar (TBS) seperti bin system yang didukung dengan grabber dan net system dengan pengangkat sistem hidrolik dari truk, sebagian besar perkebunan, terutama di petani masih menggunakan cara manual, yaitu TBS diletakkan lalu dilempar dari tempat pengumpulan hasil (TPH) ke bak truk. Kapasitas kerja pemuatan ini sangat tergantung kepada kemampuan tenaga kerja manusia. Proses secara manual tersebut memunculkan beberapa masalah antara lain: Pertama, berpotensi menyebabkan cedera pada tenaga pemuat dan dalam jangka panjang merugikan kesehatan. Kedua, administrasi pencatatan buah yang dipanen dan dimuat pada perusahaan dan kebun petani tersebut masih mendasarkan hitungan krani yang juga secara manual, dimana berpotensi adanya kesalahan manusia (human error). Pada umumnya tidak ada sistem penimbangan per TBS di TPH. Capaian target kerja pemanen hanya didasarkan jumlah TBS dikali berat panjang rerata (BJR), yang merupakan pendekatan dari data panen hari sebelumnya, sehingga tidak bisa mendukung analisis strategis per TPH, per lajur tanaman, ataupun per blok secara presisi dan cepat. Selain itu, dalam waktu 3-5 tahun terakhir, kasus pencurian TBS, selama perjalanan di berbagai lokasi meningkat cukup banyak hingga cukup merugikan perusahaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi ketiga permasalahan di atas dengan merancang bangun satu perangkat pemuat TBS dari TPH dengan mekanisme konveyor yang memiliki kemampuan menghitung jumlah dan menimbang TBS per buah dimuat, mencatat geolokasi pemuatan, serta merekam pergerakan truk dalam bentuk sistem informasi. Tujuan tersebut dicapai dalam satu tahun dengan metode: 1) rancang bangun sistem pemuat TBS: penggerak, sistem pemindahan bahan, penimbangan dan penghitungan, mekanisme pemuatan, dan pelepasan ke bak truk; 2) pengembangan sistem cerdas penghitung jumlah TBS dan penimbang TBS, yang dilengkapi dengan pencatatan posisi (GPS); dan pembangunan

prototipe; 3) Uji coba fungsional di laboratorium lapangan, dan kalibrasi parameter-parameter penentu; 4) Pembangunan sistem informasi semua parameter dan pergerakan truk untuk manajemen strategik evakuasi TBS, serta penyusunan analisa tekno-ekonomi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penimbangan digital mampu mencapai akurasi hingga 97,5%. Kapasitas pemuatan meningkat dari sekitar 18-20 ton/jam (manual) menjadi 25-30 ton/jam (konveyor), yang setara dengan peningkatan efisiensi waktu loading sebesar $\pm 30-50\%$. Dari aspek ergonomi, berdasarkan skor REBA dan NBM, penggunaan konveyor dapat menurunkan tingkat keluhan muskuloskeletal pekerja dan risiko postur kerja, serta mengurangi kebutuhan tenaga kerja dari 3-4 orang menjadi 1-2 orang per aktivitas loading.

Analisis tekno-ekonomi menunjukkan bahwa biaya operasional dapat ditekan dari Rp 18.000-22.000/ton (manual) menjadi Rp 15.000-17.000/ton (konveyor cerdas) atau terjadi penghematan hingga $\pm 20-30\%$. Investasi awal sistem berkisar Rp 100-125 juta/unit dengan estimasi ROI tahunan sebesar 35-60% dan periode pengembalian investasi (payback period) sekitar 1,5-2,5 tahun. Selain itu, sistem mampu menekan potensi kehilangan TBS (losses) dari sekitar 3-5% menjadi 1-2%, atau penurunan hingga $\pm 50-70\%$, melalui pencatatan berat berbasis sensor dan pelacakan berbasis GPS yang membentuk audit trail digital.

Sampai dengan akhir periode penelitian telah dicapai: 1) Dua versi prototipe sistem pemuat TBS; 2) Sistem penimbang cerdas dengan akurasi 97,5% beserta aplikasi akuisisi data, 3) Aplikasi pelacakan data berbasis web; 4) HAKI (paten-granted) mengenai Konveyor TBS kelapa sawit dan HAKI (hak cipta) atas aplikasi sistem informasi strategik evakuasi TBS dan pergerakan truk berbasis android dan web 4) naskah prosiding internasional terindex WoS sudah terbit 5) naskah jurnal terakreditasi internasional.



TRUK CERDAS PEMUAT TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT

Solusi Mekanisasi Cerdas untuk Pemuatan TBS yang Efisien, Akurat, Aman, dan Transparan

GRS 2024

Andreas W. Krisdiarto*; Eko Aris B. Cahyono;
Teddy Suparyanto; Irya Wisnubhadra

email: andre@instipertogja.ac.id no HP: 081 2155 4847



TANTANGAN SAAT INI

- Pemuatan masih manual lama, berat dan tidak efisien
- Data berat tidak akurat berpotensi merugikan petani / perusahaan perkebunan
- Resiko jatuhnya TBS selama proses pemuatan dan transportasi
- Tidak ada pencatatan digital untuk monitoring dan keterelusuran

SOLUSI INOVATIF

Truk Cerdas Pemuat TBS yang memiliki sistem utama konveyor cerdas yang terintegrasi dengan penimbangan digital, pencatatan geolokasi, dan pelacakan perjalanan berbasis IoT sehingga proses pemuatan TBS lebih ringan, aman, akurat, transparan dan efisien



MANFAAT UTAMA

- Meningkatkan efisiensi dan produktivitas pemuatan
- Menjamin akurasi data berat secara real time
- Mengurangi risiko kerusakan dan kehilangan TBS
- Transparansi dan keterelusuran data dari hulu ke hilir
- Mendukung perkebunan sawit yang modern dan berkelanjutan

ALUR KERJA SISTEM



KINERJA SISTEM (HASIL PENELITIAN)

1 Kinerja Sistem Saat Penimbangan dan Pemuatan di TPH

Parameter	Nilai
Total TBS	182,6 ton
Total Berat TBS	190,2 ton
BJR	23,6 kg
Waktu Pemuatan	01:45 menit
Kapasitas Mesin	120-1 kg/menit 7,2 ton/jam

2 Kinerja Sistem Saat Penimbangan dan Pemuatan di Loading Ramp Transit

Parameter	Nilai
Total TBS	66 ton
Total Berat TBS	122,3 ton
BJR	18,6 kg
Waktu Pemuatan	1:10 menit
Kapasitas Mesin	111,2 kg/menit 6,7 ton/jam

3 Akurasi Sistem Penimbangan

Tingkat akurasi
97,5 %
Tingkat kesalahan maksimum $\leq 2,5 \%$



Tampilan aplikasi android (mobile)

4 Aplikasi & Sistem Informasi

- Aplikasi Android untuk akurasi data & monitoring real-time
- Dashboard web berbasis data untuk analisis & pelaporan



Tampilan dashboard Web Based

FITUR UTAMA

- Konveyor Otomatis**
Mengangkut TBS secara cepat dan terkontrol ke bak truk
- Penimbang Digital**
Load cell presisi tinggi untuk pengukuran berat yang akurat
- Sistem Kontrol Cerdas**
Otomatisasi proses mulai dari penimbangan hingga pemuatan
- IoT & GPS Tracking**
Monitoring lokasi dan berat secara real time
- Dashboard Informasi**
Rekap data pemuatan, riwayat, dan laporan terintegrasi

TIM PENELITIAN

Ketua Peneliti:
Dr. Ir. Andreas W. Krisdiarto, M.Eng
(Institut Pertanian STIPER Yogyakarta)

Anggota Peneliti:
- Eko Aris B. Cahyono, ST., M.Eng
(Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)
- Teddy Suparyanto, S.Pd., MTI,
(Institut Pertanian STIPER Yogyakarta)
- Irya Wisnubhadra, ST., MT., Ph.D.
(Universitas Atma Jaya Yogyakarta)

TEKNOLOGI YANG DIGUNAKAN

- Mekatronika**
Kombinasi mekanika, elektronika, dan sistem kontrol
- Sistem Kontrol**
Kontrol berbasis PLC untuk mengotomatiskan proses pemuatan
- IoT & Cloud**
Komunikasi berbasis nirkabel untuk transmisi data ke server cloud
- Sistem Informasi**
Berbasis web, mobile, dan desktop untuk pelacakan data

DAMPAK & MANFAAT EKONOMI

- Peningkatan Kapasitas Muatan**
30-50% (dibandingkan manual)
- Pengurangan Tenaga Kerja**
Dari 10 orang menjadi 1-2 orang per aktivitas loading
- Pengurangan Waktu Pemuatan**
Pemeriksaan waktu pemuatan berkisar 50-70%
- Penghematan Biaya Operasional**
Dari Rp. 18.000 - 22.000 per ton menjadi Rp. 15.000 - 17.000 per ton
- ROI Tahunan**
35-60%
- Payback Period**
1,5-2,5 tahun

PROTOTYPE KONVEYOR YANG DIKEMBANGKAN



KESIMPULAN

- Berhasil dikembangkan 2 prototipe dari 2 versi desain dengan peningkatan signifikan aspek mobilitas, kecepatan operasional, dan keandalan struktur.
- Sistem penimbangan digital mencapai akurasi hingga 97,5% dan terintegrasi dengan data geolokasi serta waktu secara real-time.
- Konveyor cerdas mampu meningkatkan kapasitas pemuatan, menurunkan beban kerja fisik, serta meningkatkan efisiensi operasional dan transportasi.
- Sistem hasil pengembangan memberikan penghematan secara signifikan (ROI 35-60% dan Payback Period 1,5-2,5 tahun).
- Inovasi telah didaftarkan paten dan hak cipta, dipublikasi secara ilmiah pada jurnal terindex dan prosiding seminar internasional terindex WOS.

PROTOTYPE 2 - SELF MODE



LUARAN

- 2 Prototipe konveyor cerdas (mobile dan self mode)
- Aplikasi Android dan Web Based
- 1 paten dan 2 hak cipta
- Program komputer
- Artikel ilmiah dalam jurnal terindex
- Artikel ilmiah dalam Prosiding Internasional terindex WoS

LEMBAGA PELAKSANA
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM)
Institut Pertanian STIPER Yogyakarta

Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta

PENDANAAN Badan Pengelola Dana Perkebunan



KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

PENANGANAN LIMBAH DAN LINGKUNGAN

40

Pengembangan Membran Skala Bench untuk Nutrient Recovery dan Recycle Air Limbah POME sebagai Air Proses

Peneliti: Prof. Ir. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D dan tim peneliti

Indonesia merupakan negara dengan produksi minyak sawit terbesar di dunia mencapai 45,5 juta metrik ton (MT) CPO (crude palm oil) per tahun. Peningkatan produksi CPO tentu akan berdampak pada jumlah timbulan limbah industri yang dihasilkan. POME (palm oil mill effluent) merupakan limbah cair dari produksi CPO yang dapat berdampak lingkungan apabila tidak diolah dan dikelola dengan benar. POME memiliki kandungan senyawa organik dan karbondioksida yang tinggi. Sejumlah besar senyawa nitrogen, fosfat, kalsium, magnesium, dan kalium terdapat dalam POME yang dapat digunakan sebagai pupuk. Senyawa tersebut berpotensi pasar tinggi untuk dimanfaatkan dalam industri petrokimia sebagai bahan baku untuk memenuhi pasokan industri pupuk dan sebagai energi alternatif. Di samping itu, penggunaan pupuk tersebut juga dapat diaplikasikan untuk perkebunan kelapa sawit guna memaksimalkan pemanfaatan dari limbah POME. Teknologi membran skala bench mampu me-recovery nutrisi dan me-recycle air limbah POME menjadi air proses. Tujuan dari pengembangan riset ini adalah (1) mendesain dan memproduksi teknologi membran skala bench; (2) mengaplikasikan, menguji kinerja dan mendemonstrasikan teknologi membran untuk nutrient recovery dan water recycling dari limbah POME sebagai air proses; dan (3) meningkatkan efisiensi dan nilai ekonomis dari limbah padat, daur ulang air proses dan nutrient recovery.

Metode riset yang dilakukan untuk mencapai tujuan yang dibawa selama 2 (dua) tahun ini terdiri dari 6 (enam) tahap, yaitu: (1) Persiapan teknologi membran skala lab dan bench; (2) Optimasi kondisi operasi membran dengan kapasitas 30 L/jam; (3) Evaluasi fouling dan cleaning membran; (4) Analisis karakterisasi nutrient sebagai pupuk dan air hasil olahan sebagai air proses; (5) Demonstrasi teknologi membran untuk menghasilkan nutrient dari POME dan recycling air limbah POME sebagai air proses; (6) Publikasi nasional dan internasional serta penyusunan paten dan pelaporan keseluruhan hasil riset.

Prototipe alat spinneret untuk produksi membran hollow fiber PVDF berhasil dibuat menggunakan coaxial electrospinning needle. Membran hollow fiber yang telah diproduksi memiliki struktur morfologi yang baik untuk digunakan pada proses pemisahan yang terdiri dari sponge dan finger like structure. Selain itu, membran flat sheet polyamide yang telah disintesis menunjukkan performa yang baik dengan nilai fluks permeat sangat tinggi sebesar 50-420 L/m².jam. Membran ini berpotensi dikembangkan dalam bentuk konfigurasi spiral wound untuk keperluan komersial.

Membrane bioreactor (MBR) yang didesain dan dikembangkan untuk mengatasi fouling telah berhasil dibuat. Reaktor membran yang didesain memiliki konfigurasi tambahan dengan keberadaan sand filter untuk meningkatkan performa membran dalam mengatasi permasalahan fouling membran. Selain itu, sistem aerasi pada tangki bioreactor juga mampu menurunkan fouling membran sekaligus berperan dalam proses pengolahan air limbah POME menjadi air bersih. Nilai TDS (total dissolved solid) permeat setelah melalui proses membran bioreactor dengan konfigurasi sand filter memiliki nilai penyisihan 84% yakni lebih tinggi 2 kali lipat dibandingkan tanpa filter. MBR skala bench bertanggung jawab untuk mendaur ulang dan menggunakan kembali air dengan sistem penyaringan membran terintegrasi. Sistem terintegrasi untuk pengolahan dan pemurnian air mengurangi jejak air dengan mendaur ulang dan menggunakan kembali air untuk mencapai nol limbah di dalam pabrik. Sistem ini juga dapat mengurangi biaya operasi, karena sumber air eksternal berkurang. Berdasarkan analisis ekonomi teknologi dari sistem ini yang siap untuk dikomersialkan dengan kapasitas 450 L, CAPEX, OPEX, dan biaya produksi masing-masing adalah Rp 7,41 miliar, Rp 4,55 miliar/tahun, dan Rp 122,00 per liter permeat.



Development of Bench Scale Membrane System for Nutrient Recovery and Recycle of POME Wastewater as Boiler Feed Water



Muthia Elma^{13*}, Aulia Rahma², Riani Ayu Lestari¹, Awali S. K. Harivram¹, Zaini L. Assyaifi², Rhafiq A. Ghani² and Zahratunnisa²

¹ Chemical Engineering Department, Engineering Faculty, Lambung Mangkurat University

² Materials and Membranes Research Group (M²ReG)

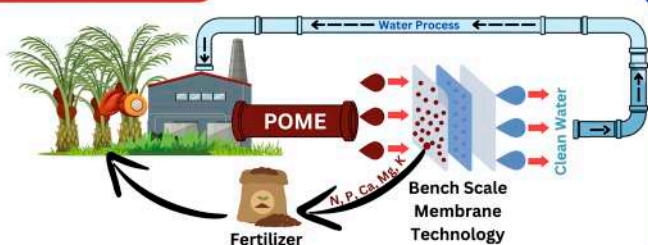
*melma@ulm.ac.id

Abstract

A bench-scale of Membrane Technology installed for water recycle and nutrient recovery from POME (palm oil mill effluent) which collaborates with PT. Mustika Sembuluh Wilmar Group, East Kotawaringin, Central Kalimantan. It transforms a regular POME water treatment system into a green technology with environmental sustainable. Two strategic thrust areas were identified to address the sustainability challenges of palm oil processing, namely the discharge of a large amount of highly polluting effluent and generation of a large amount of sludge waste. The approaches adopted in this research programme integrated membrane filtration treatment processes in recovering treated water for boiler feed application. On the other hand, POME concentrates from membranes side products, were used to produce macro nutrient as organic fertiliser. The results of the bench-scale operation showed that POME waste water could be used as boiler feed water. Meanwhile, organic fertiliser was produced at a lower cost and in a shorter duration. The bench-scale membrane technology serves as a sustainable technology with the possibility of changing perceptions, especially among foreign importers, that palm oil production can be environmentally friendly.

Keyword: POME, water recycle, nutrient recovery and membrane bioreactor

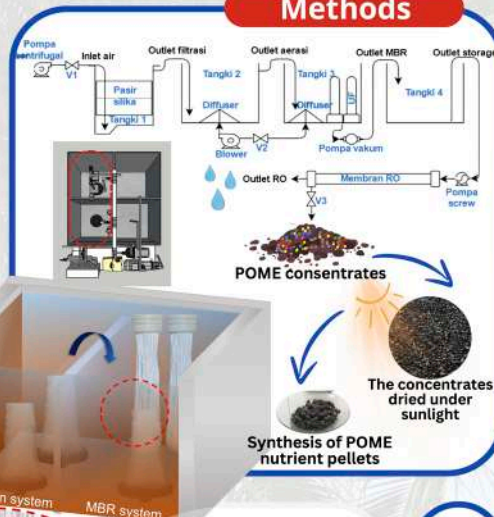
Introduction



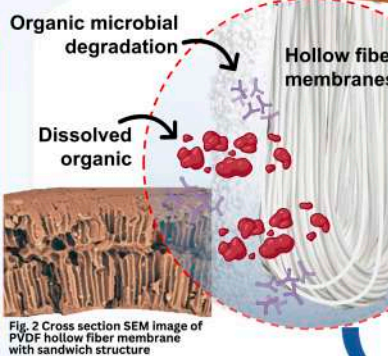
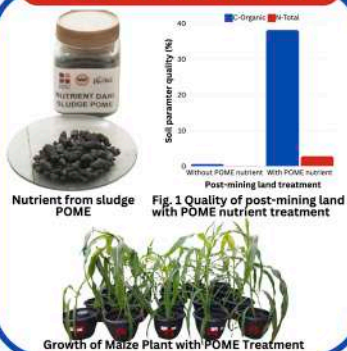
The objectives of this research are:

1. to design and produce bench-scale membrane technology;
2. to test and demonstrate the membrane technology for nutrient recovery and water recycling from POME waste; and
3. to enhance the efficiency and economic value of solid waste, water recycling, and nutrient recovery.

Methods



Results & Discussions



Conclusion

Bench-scale MBR technology successfully designed and demonstrated for POME treatment

The MBR has successfully recycled POME effluent into clean water according to boiler feed water and drinking water standards.

Post-mining soil quality improved with POME nutrient addition



Technology readiness for commercialisation (450 LPH)

- Water production cost : Rp. 122,-
- The CAPEX : Rp. 7.4 billion
- OPEX : Rp. 4.5 billion/year

Table 1. Water quality of POME treatment process

Parameter	Feed water	MBR	RO	Reference water standard
TDS (mg/L)	3190	3300	250	<500
Turbidity (NTU)	280	0	0	0-3
Conductivity (µS)	5000	4510	362	-
pH	9.85	9.95	7.08	7-8.5
Salinity (Ppt)	3.09	3.75	0.21	-
DO (mg/L)	1.3	3.0	3.1	-
BOD ₅ (mg/L)	2095	48	3	300
COD (mg/L)	5046	394	12	350

Acknowledgement

The authors appreciate the financial support provided by Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit of Republic Indonesia under contract No: PRJ-371/DPKS/2022

41

Pembuatan Purwarupa Sistem Penyedia Energi Listrik Terintegrasi (Baterai dan Superkapasitor) dari Limbah Kelapa Sawit

Peneliti: Prof. Ir. Tirto Prakoso, S.T., M.Eng., Ph.D, Ir. Hary Devianto, S.T., , M.Eng., Ph.D, Dr. Eng. Ir. Pramujo Widiatmoko, S.T., M.T, Dr. Isdiriyani Nurdin, Dr. Heri Rustamaji, Pramahadi Febriyanto, M.T, Ira Febrianty Sukmana, S.Si, M.T, Hera Rahma Fitri, S.Si, M.T, Neng Sri Mulkiyatul, S.Si.

Latar Belakang dan Urgensi

Indonesia sebagai produsen CPO terbesar di dunia menghasilkan limbah biomassa padat dan cair yang melimpah seperti Tandan Kosong Sawit (TKS), Cangkang Kelapa Sawit (CKS), dan Palm Oil Mill Effluent (POME). Penelitian ini berhasil mengonversi limbah bernilai rendah tersebut menjadi material nanokarbon fungsional tinggi (activated carbon, graphene, dan carbon nanotubes/CNT). Teknologi ini ditujukan untuk menyuplai komponen elektroda lokal kendaraan listrik guna meningkatkan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) melalui sistem penyimpanan energi hibrida (Hybrid Energy Storage System/HESS).

Metodologi dan Proses Sintesis

Sintesis materi penyusun elektroda dikembangkan secara spesifik berbasis karakteristik limbah:

- Karbon Aktif: Disintesis dari TKS menggunakan metode karbonisasi hidrotermal dengan aktivator $ZnCl_2$ diikuti pirolisis.
- Graphene: Diproduksi dari CKS melalui pengecilan ukuran, impregnasi doping urea nitrogen dan $FeCl_3$, serta pirolisis dua tahap.
- Carbon Nanotubes (CNT): Disintesis melalui polimerisasi cair POME menjadi resin padat, dicampur ferrosen, dipirolisis, dan dimurnikan menggunakan senyawa asam (HCl & HNO_3). Materi nanokarbon tersebut kemudian difabrikasi menjadi modul stack superkapasitor (elektrolit polimer gel) dan modul baterai Zinc-Udara sekunder.

Hasil Capaian dan Kinerja Teknis (Validasi)

Penelitian ini sukses merancang dan menguji fungsionalitas purwarupa sistem terintegrasi (TKT 4-6):

- Kinerja Superkapasitor: Menghasilkan nilai kapasitansi elektroda sebesar 228 F/g, rapat energi 20 Wh/kg, rapat daya 1400 W/kg, serta memiliki stabilitas siklus luar biasa mencapai 103% setelah melewati 10.000 siklus pengujian.
- Kinerja Baterai Zinc-Udara: Formulasi elektrolit gel polimer (GPE) dioptimasi dengan komposisi PVA 62%, kitosan 32%, dan asam sitrat 6% yang menghasilkan konduktivitas ionik terbaik. Penambahan aditif 20% SiO_2 meningkatkan kestabilan siklus pengisian-pengosongan. Konfigurasi anoda terbaik menggunakan serbuk seng (partikel 117–425 μm) dengan 1% binder PVA menghasilkan rapat daya maksimum 39,23 mW/cm².
- Integrasi: Integrasi baterai seng-udara dan superkapasitor berbasis limbah sawit ini menghasilkan sinergi performa yang optimal karena superkapasitor mampu meratakan daya puncak instan untuk memperpanjang masa pakai baterai.

PEMBUATAN PURWARUPA SISTEM PENYEDIA ENERGI LISTRIK (BATERAI & SUPERKAPASITOR) DARI LIMBAH KELAPA SAWIT

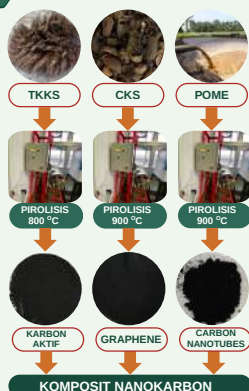
Prof. Dr. Tirta Prakoso | Dr. Hary Devianto | Dr. Isdiriyani Nurdin | Dr. Pramujo Widiatmoko

Dr. Heri Rustamaji | Pramahadi Febriyanto, M.T. | Ira Febrianty Sukmana, S.Si., M.T. | Hera Rahma Fitri, S.Si., M.T. | Neng Sri Muktiyatul, S.Si.

Sistem penyimpanan energi merupakan bagian integral dari kendaraan listrik. Sampai saat ini, baterai adalah salah satu dari penyimpanan energi yang paling banyak digunakan. Namun demikian, baterai memiliki beberapa kelemahan, termasuk daya rapat rendah, masa pakai baterai yang pendek, dan biaya tinggi. Untuk menghindari permasalahan tersebut, dikembangkan sistem penyedia energi listrik terintegrasi (SPET), yang menggabungkan fungsionalitas superkapasitor dan baterai. Pada penelitian ini, limbah kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang kelapa sawit (CKS) dan *palm oil mill effluent* (POME) dimanfaatkan menjadi nanokarbon untuk bahan baku material elektroda baterai Zn-Air (ZAB) dan superkapasitor (SC).

METODOLOGI

1 PRODUKSI NANOKARBON



2 PRODUKSI BATERAI Zn-AIR & SUPERKAPASITOR

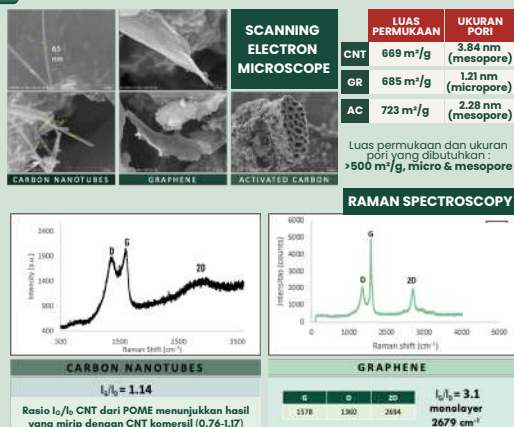


3 INTEGRASI & PENGUJIAN BATERAI Zn-AIR & SUPERKAPASITOR

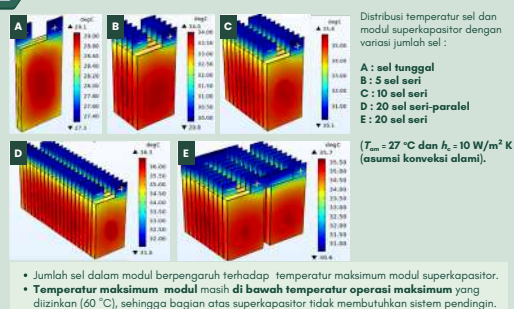


HASIL PENELITIAN

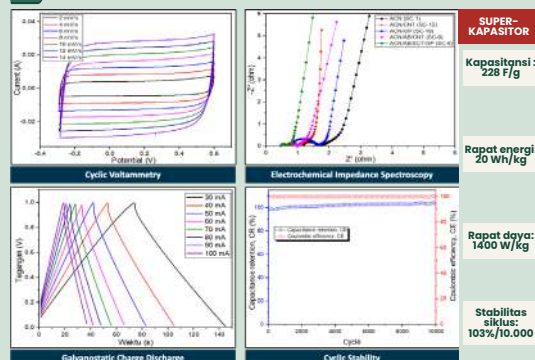
1 KARAKTERISASI NANOKARBON



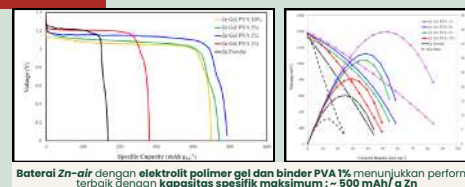
2 SIMULASI TERMAL



3 KARAKTERISASI ELEKTROKIMIA



BATERAI ZINC-AIR



KESIMPULAN

- Fabrikasi sistem penyedia energi terintegrasi (baterai dan superkapasitor) dari limbah kelapa sawit telah berhasil dilakukan.
- Kinerja superkapasitor memiliki performa yang baik, ditunjukkan dengan kapasitas mencapai 228 F/g, rapat energi sebesar 20 Wh/kg, rapat daya sebesar 1400 W/kg, serta stabilitas siklus yang baik sebesar 103% setelah melewati 10.000 siklus.
- Performa baterai Zn-air dioptimasi menggunakan elektrolit polimer gel (GPE) dengan binder PVA 1% menghasilkan performa elektrokimia terbaik dengan kapasitas spesifik maksimum ~ 500 mAh/g Zn.
- Integrasi baterai Zn-air dan superkapasitor berbasis limbah sawit ini menghasilkan sinergi performa yang optimal karena superkapasitor mampu meratakan daya puncak instan untuk memperpanjang masa pakai baterai.

PUBLIKASI



42

Pengembangan Teknologi Konversi Terintegrasi untuk Pengolahan POME dan Produksi Bahan Bernilai Tambah dengan Biomassa Mikroalga

Peneliti: Prof. Dr. Ardiyan Harimawan, Prof Dr. Tjandra Setiadi, Dr. Awalina Satya, Drs. Tjandra Chrismadha, M. Phill., Dr. Helen Julian, Prof. Nina Artanti, Dr. Ade Andriani, Ir. Ika A. Satya, Rosidah, S.Si.

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair industri kelapa sawit yang mengandung BOD tinggi (~25.000 mg/L), COD (~50.000 mg/L), serta nitrogen dan fosfor dalam konsentrasi besar sehingga berbahaya jika dibuang langsung ke badan air. Pengolahan konvensional melalui kolam anaerobik (anaerobic ponds) memiliki keterbatasan yaitu membutuhkan lahan luas (30–45 ha), Hydraulic Retention Time (HRT) panjang (100–160 hari), serta berpotensi melepaskan gas rumah kaca. Penelitian ini mengembangkan sistem Membran Fotobioreaktor (MPBR) yang memanfaatkan mikroalga *Spirulina platensis* untuk mengolah POME sekaligus menghasilkan biomassa bernilai jual tinggi, dalam kerangka ekonomi sirkular berbasis industri kelapa sawit.

Sistem MPBR dikembangkan secara bertahap dari mulai karakterisasi POME dan seleksi strain mikroalga, evaluasi kinerja sistem MBR-MPBR skala laboratorium (15 L) dengan variasi konsentrasi POME (10%–100%), laju aerasi (0,67–2,67 vvm), dan nilai fluks membran (6–52 LMH), Hingga scale-up ke prototipe MPBR outdoor 300 L. Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan biomassa, penurunan COD/BOD/TSS/TN/TP/N-NH₄, produksi lipid, β -karoten, fikosianin, serta analisis keekonomian proyek.

Spirulina platensis terbukti mampu tumbuh dan berkembang pada POME 100%. Pertumbuhan tertinggi diperoleh pada konsentrasi 90% POME dengan berat kering 1.390 mg/L dan laju pertumbuhan spesifik (μ) sebesar 0,349/hari. Peningkatan laju aerasi dari 0,67 vvm menjadi 2,67 vvm meningkatkan μ dari 0,12 menjadi 0,27/hari, produktivitas biomassa dari 131,88 menjadi 251,40 mg/(L.hari), perolehan lipid dari 19,31% menjadi 26,24%, serta produksi β -karoten dari 0,03 menjadi 0,47 μ g/g. Hal ini terjadi karena *Spirulina platensis* bersifat mikсотроfik, mampu memanfaatkan karbon organik dari POME sekaligus karbon anorganik (CO₂) dari aerasi.

Uji fluks kritik menunjukkan operasi pada fluks awal rendah (6 LMH) menghasilkan profil stabil, sementara fluks >30 LMH menyebabkan penurunan spontan akibat polarisasi konsentrasi. Pada operasi HRT 7 hari, penyisihan TSS mencapai 84%, N-NH₄ turun dari 21 menjadi 3,16 mg/L, Total N dari 218 menjadi 13,8 mg/L, Total P dari 12 menjadi 0,47 mg/L, dan COD turun 40–50%.

Penurunan COD yang terbatas disebabkan mikroalga turut memanfaatkan karbon dari udara sehingga sumbangan karbon organik POME menjadi lebih kecil. Pada skala pilot 300 L (medium 60% POME), efisiensi penyisihan N-NH₄ mencapai 98,56%, TSS 93,37%, COD 86,54%, dan Total N 89,50% hingga hari ke-14. Laju pertumbuhan meningkat 10 kali lipat dan produktivitas biomassa naik 6 kali lipat dibanding tahap aklimatisasi. Fouling mulai terdeteksi pada hari ke-8 dan membran mengalami total clogging pada hari ke-18.

Spirulina hasil MPBR memiliki kandungan protein 83,77% dan lipid 11%, jauh melampaui produk spirulina powder komersial (60% dan 6%). Kandungan karoten juga lebih tinggi (0,19% vs. 0,15%). Namun, kandungan fikosianin (4,83% vs. 20%) dan klorofil (0,70% vs. 1,50%) masih lebih rendah sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut.

Total CAPEX proyek sebesar Rp 269,2 juta (FCI: Rp 147,2 juta; Working Capital: Rp 22,1 juta; Lahan & Bangunan: Rp 100 juta). OPEX tahunan sebesar Rp 127,9 juta dengan pendapatan dari penjualan spirulina powder (Rp 300.000/kg; produksi 336,6 kg/tahun) senilai Rp 101 juta/tahun. Indikator keekonomian non-diskonto: Payback Period 14,2 tahun, ROI 52,9%. Indikator diskonto: NPV Rp 50,2 juta, IRR 1,65%, DPBP 19,2 tahun. Proyek secara ekonomi layak, namun periode pengembalian yang panjang mengindikasikan perlunya peningkatan produktivitas biomassa.

Sistem MPBR dengan *Spirulina platensis* ini efektif mengolah POME hingga konsentrasi 100% sekaligus menghasilkan biomassa berkualitas tinggi. Laju aerasi 2,67 vvm optimal untuk pertumbuhan dan produksi metabolit. Meskipun demikian, efluen MPBR belum sepenuhnya memenuhi baku mutu (COD $\leq$ 350 mg/L); disarankan penambahan nanofiltrasi atau pengolahan aerobik lanjutan (lumpur aktif). Untuk meningkatkan kelayakan ekonomi, produktivitas biomassa perlu ditingkatkan minimal hingga 2 g/L/hari melalui pemanenan berkala setiap 5 hari operasi.



Pengembangan Teknologi Konversi Terintegrasi untuk Pengolahan POME dan Produksi Bahan Bernilai Tambah dengan Biomassa Mikroalga

Prof. Dr. Ardiyan Harimawan, Prof. Dr. Tjandra Setiadi, Dr. Awalina Satya, Drs. Tjandra Chrismadha,
M. Phill., Dr. Helen Julian, Prof. Nina Artanti, Dr. Ade Andriani, Ir. Ika A. Satya, Rosidah, S.Si.
Email : Ardiyan@cheitb.id

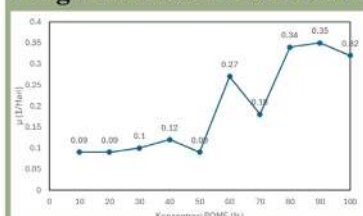


Pendahuluan

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair industri kelapa sawit yang mengandung BOD tinggi (~25.000 mg/L), COD (~50.000 mg/L), serta nitrogen dan fosfor dalam konsentrasi besar sehingga berbahaya jika dibuang langsung ke badan air. Pengolahan konvensional melalui kolam anaerobik (*anaerobic ponds*) memiliki keterbatasan yaitu membutuhkan lahan luas (30-45 ha), *Hydraulic Retention Time* (HRT) panjang (100-160 hari), serta berpotensi melepaskan gas rumah kaca. Penelitian ini mengembangkan sistem Membran Fotobioreaktor (MPBR) yang memanfaatkan mikroalga *Spirulina platensis* untuk mengolah POME sekaligus menghasilkan biomassa bernilai jual tinggi, dalam kerangka ekonomi sirkular berbasis industri kelapa sawit.

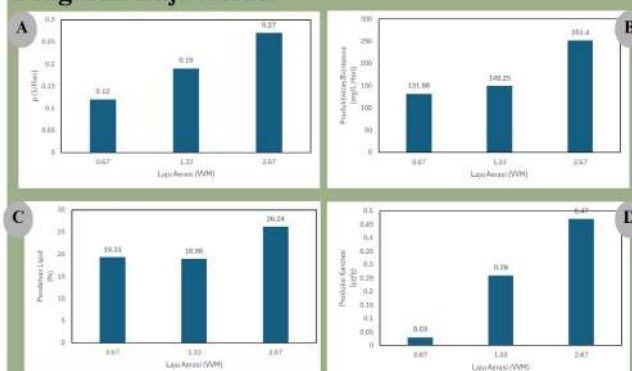
Hasil Penelitian

Pengaruh Konsentrasi POME



Gambar 2. Laju Pertumbuhan Spesifik Pada Variasi Konsentrasi POME

Pengaruh Laju Aerasi



Gambar 3. Pengaruh Laju Aerasi terhadap A) Laju Pertumbuhan Spesifik, B) Produktivitas Biomassa, C) Perolehan Lipid, dan D) Perolehan β-Karoten.

Peningkatan laju aerasi dari 0,67 vvm menjadi 2,67 vvm meningkatkan μ dari 0,12 menjadi 0,27/hari, produktivitas biomassa dari 131,88 menjadi 251,40 mg/(L.hari), perolehan lipid dari 19,31% menjadi 26,24%, serta produksi β-karoten dari 0,03 menjadi 0,47 μg/g

Volume Kerja 300 L



Gambar 9. Bioreaktor 300 L

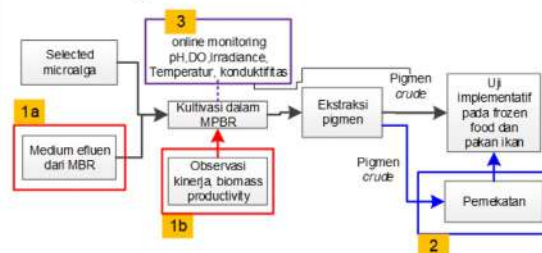
Kualitas Air Limbah

- pH Berkisar 9,37-9,55
- Temperatur saat sampling 27,1-28,1°C
- ORP berkisar -208 hingga -158mV
- Konduktivitas 16.339-7853 μS/cm
- Dissolved Oxygen 5,7-2,7 mg/L
- TDS 326-196 ppb
- Salinitas 0,91-0,40 ‰
- TSS berkisar 0,56-0,06 g/L terjadi reduksi sebanyak 93,18% terhadap reservoir
- N-NH₄ berkisar 1,35-1,28 mg/L terjadi reduksi sebanyak 98,57% terhadap reservoir
- Total Nitrogen 23,74 mg/L, terjadi reduksi sebanyak 89,48% terhadap reservoir
- COD 408,3 mg/L, terjadi reduksi sebanyak 86,5% terhadap reservoir

Tujuan

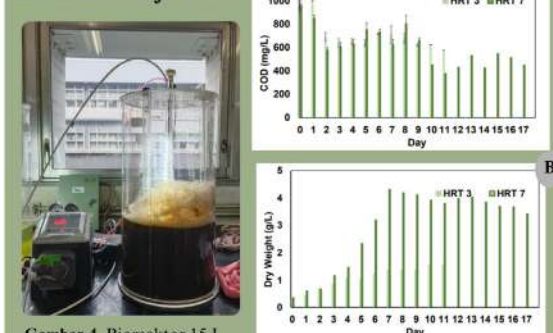
Mengembangkan kombinasi teknologi konversi untuk mengolah POME lebih lanjut dan produksi produk samping menggunakan mikroalga

Metodologi



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Volume Kerja 15 L



Gambar 4. Bioreaktor 15 L

Gambar 5. Profil A) COD dan B) Biomassa

Pada HRT 3 hari, COD turun tajam dari 1021,7 mg/L ke 89,2 mg/L dalam 2 hari, lalu berfluktuasi ringan. Pada biomassa meningkat eksponensial dari 0,30 g/L menjadi 1,5 g/L hingga hari ke-11. Sementara itu, pada HRT 7 hari, COD turun dari 962,5 mg/L ke 449,2 mg/L dalam 10 hari dan pertumbuhan biomassa mencapai 4,32 g/L pada hari ke-7 lalu stabil setelahnya, namun nilai tinggi diduga berasal dari partikel tersuspensi pada POME



Gambar 6. Biomassa Hasil Harvesting



Gambar 7. Permeal



Gambar 8. Membran setelah Digunakan

Kesimpulan

- Spirulina platensis* mampu tumbuh dan mengolah limbah POME secara efektif pada skala outdoor MPBR 300 L, menghasilkan biomassa berkualitas tinggi.
- Laju aerasi dan pengaturan fluks, termasuk operasi pada HRT 3 hari dan fluks 6 LMH, terbukti penting untuk menjaga produktivitas biomassa dan efisiensi penyiisan pencemar.
- Teknologi MPBR skala 300 L layak diterapkan secara teknis dan ekonomis, dengan efisiensi penyiisan COD, TSS, dan nutrisi tinggi, meskipun memiliki payback period 15 tahun.

43

Pemanfaatan Asap Cair dari Limbah Biomassa Cangkang Sawit Sebagai Green Inhibitor Pembentukan Material Kerak Anorganik

Peneliti: Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D., Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc., Prof. Drs. Tugiyono, M.S., Ph.D., dan Prof. Dr. Buhani, M.Si.

Pembentukan kerak anorganik, terutama kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium sulfat (CaSO_4), menjadi permasalahan utama pada berbagai industri berbasis air seperti industri energi, pengolahan air, manufaktur, dan sistem termal. Kerak yang terbentuk pada pipa, boiler, heat exchanger, dan sistem pendingin menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas, peningkatan konsumsi energi, tingginya biaya perawatan, serta mempercepat kerusakan peralatan. Pengendalian kerak saat ini masih bergantung pada inhibitor sintesis impor yang relatif mahal dan berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, sehingga diperlukan alternatif inhibitor yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berbasis sumber daya lokal.

Penelitian ini mengembangkan asap cair dari limbah cangkang kelapa sawit sebagai green scale inhibitor. Pemanfaatan cangkang sawit dipilih karena ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, namun masih memiliki nilai tambah yang rendah. Selain mengatasi permasalahan industri, penelitian ini juga mendukung hilirisasi sawit, ekonomi sirkular, dan pengembangan inovasi berbasis biomassa.

Asap cair diproduksi melalui proses pirolisis menggunakan reaktor modifikasi dengan variasi temperatur untuk memperoleh kondisi optimum. Produk yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi guna mengidentifikasi senyawa aktif yang berperan dalam penghambatan pembentukan kerak. Kinerja asap cair diuji terhadap pembentukan kerak CaCO_3 dan CaSO_4 serta dibandingkan dengan inhibitor sintesis seperti EDTA dan inhibitor komersial pada konsentrasi yang setara.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa asap cair cangkang sawit memiliki kemampuan inhibisi yang sangat baik bahkan pada konsentrasi rendah. Asap cair mampu menghambat pembentukan kerak CaCO_3 dan CaSO_4 secara signifikan dengan efektivitas yang setara bahkan melebihi inhibitor sintesis.

Analisis menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan X-ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa asap cair tidak hanya mengurangi jumlah endapan, tetapi juga mengubah morfologi dan struktur kristal menjadi lebih kecil, tidak beraturan, serta menurunkan kristalinitasnya. Mekanisme penghambatan terjadi melalui gangguan proses nukleasi, penghambatan pertumbuhan kristal, dan perubahan jalur pembentukan fase kristal sehingga endapan menjadi lebih mudah terdispersi.

Penelitian ini menghasilkan berbagai luaran, antara lain paten terdaftar, publikasi ilmiah internasional, presentasi pada seminar internasional, prototipe inhibitor berbasis asap cair, serta prototipe alat pirolisis cangkang sawit berkapasitas 50 kg. Capaian tersebut menunjukkan bahwa teknologi yang dikembangkan telah memiliki dasar yang kuat untuk menuju tahap pilot dan implementasi industri.

Dari sisi ekonomi, pemanfaatan asap cair berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap inhibitor impor, menekan biaya operasional, meningkatkan nilai tambah limbah sawit, serta membuka peluang usaha berbasis teknologi lokal. Dari aspek lingkungan, teknologi ini mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan mengubah limbah menjadi produk bernilai tinggi sekaligus mengurangi penggunaan bahan kimia sintesis yang berpotensi mencemari lingkungan.

Secara keseluruhan, penelitian ini mendukung kebijakan nasional dalam hilirisasi kelapa sawit, penguatan inovasi berbasis sumber daya lokal, dan pengembangan teknologi ramah lingkungan. Dengan capaian ilmiah, teknologi, dan potensi implementasi yang dimiliki, penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan industri sawit yang berkelanjutan dan berdaya saing.

PEMANFAATAN ASAP CAIR DARI LIMBAH BIOMASSA CANGKANG SAWIT SEBAGAI GREEN INHIBITOR PEMBENTUKAN MATERIAL KERAK ANORGANIK

No Kontrak: PRJ-89-DPKS/2023



I. TUJUAN PENELITIAN

- 1 Pemanfaatan asap cair dari limbah biomassa cangkang sawit dan modifikasinya sebagai inhibitor ramah lingkungan untuk menghambat pertumbuhan kerak material anorganik yang memiliki kemampuan setara dengan inhibitor komersial.
- 2 Menguasai teknologi *green scale inhibitor* yang ramah lingkungan, murah, dan tidak beracun dengan memanfaatkan asap cair cangkang sawit sebagai substitusi zat kimia impor untuk menghemat devisa negara.



Kerak Material Anorganik pada Pipa

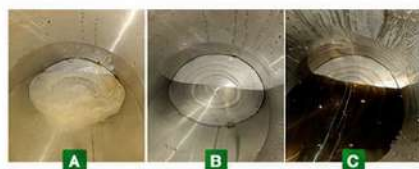


II. CAPAIAN HASIL

- 1 Inhibitor asap cair cangkang sawit mampu menghambat pertumbuhan kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat pada konsentrasi larutan ion kalsium $0.001 - 0.005$ M sebesar **88 - 99%**.
- 2 Hasil uji coba yang didapat melebihi kemampuan inhibitor komersial.



III. GAMBAR CAPAIAN HASIL



A : Tanpa Inhibitor
B : Inhibitor komersial
C : Inhibitor Asap Cair



- 1 Cangkang Sawit
- 2 Asap cair
- 3 Green Inhibitor
- 4 Recirculating Loop System
- 5 Kupon logam awal
- 6 Kupon logam setelah 4 jam interaksi dengan larutan pertumbuhan tanpa inhibitor
- 7 Kupon logam awal
- 8 Kupon logam setelah 4 jam interaksi dengan larutan pertumbuhan dengan inhibitor
- 9 Water Boiler



KELOMPOK
PENELITI

Prof. Ir. Suharto, S.Si., Ph.D.
Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.
Prof. Drs. Tugiyono, M.S., Ph.D.
Prof. Dr. Buhani, M.Si.



44

PROGRAM PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BETON PRECAST BERBASIS FOAM CONCRETE DENGAN BAHAN SUBSTITUSI LIMBAH BIOMASSA SAWIT

Peneliti: Prof. Dr. Ir. Izarul Machdar, M. Eng.; Dr. Ir. Abdullah, M.Sc; Sofyan, S.T., M.T.; Wahyu Rinaldi, S.T. M.Sc.; dan Dr. Ernawati, S.P., M.Si

Indonesia merupakan negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi akibat posisinya pada pertemuan Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Aceh termasuk wilayah dengan aktivitas seismik signifikan, sehingga membutuhkan pendekatan konstruksi yang mengutamakan keselamatan, khususnya melalui penggunaan material bangunan yang ringan, memiliki kinerja mekanik memadai, dan berkelanjutan. Di sisi lain, industri konstruksi masih bergantung pada material konvensional yang berat dan intensif sumber daya alam, sementara potensi limbah biomassa sawit sebagai bahan konstruksi bernilai tambah tinggi belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan industri beton ringan precast berbasis foam concrete dengan bahan substitusi limbah biomassa sawit, yaitu cangkang sawit dan clinker boiler, sebagai solusi material untuk bangunan ramah gempa dan berkelanjutan. Metodologi penelitian dilakukan secara bertahap dan terintegrasi, mencakup aspek material, proses, dan sistem industri. Tahap awal meliputi pengembangan foam agent lokal (dengan merek FoaMac) dan karakterisasi busa melalui pengujian densitas (50–90 g/L) dan stabilitas foam. Selanjutnya dilakukan penyiapan biomassa sawit melalui proses pencucian, pengeringan, sortir, serta pelapisan menggunakan bahan anti-mikroba dan nano-coating untuk menurunkan daya serap air dan meningkatkan ikatan antar-muka dengan matriks semen. Tahap berikutnya adalah perancangan campuran foam concrete dengan variasi bahan isian biomassa sawit, diikuti dengan pengujian sifat fisik dan mekanik beton ringan meliputi densitas kering, kuat tekan, dan kuat tarik pada umur pengujian tertentu. Analisis mikrostruktur dilakukan menggunakan SEM dan XRD untuk mengevaluasi distribusi pori dan efektivitas coating biomassa. Pada tahap lanjutan, teknologi diimplementasikan pada skala industri melalui pembangunan fasilitas produksi beton ringan precast, instalasi peralatan utama, serta produksi elemen pracetak dan uji performa pada kondisi mendekati aplikasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa foam concrete berbasis cangkang sawit memiliki densitas kering 1.000–1.300 kg/m³ dengan kuat tekan lebih besar dari 6 MPa pada umur 28 hari, sedangkan foam concrete berbasis clinker boiler mencapai densitas 1.250–1.400 kg/m³ dengan kuat tekan 12–18 MPa.

Nilai ini memenuhi kriteria beton ringan non-struktural hingga semi-struktural. Dibandingkan bata merah dan beton normal, material yang dikembangkan memiliki berat 40–60% lebih ringan, sehingga secara signifikan menurunkan gaya gempa yang bekerja pada bangunan sesuai prinsip SNI 1726, di mana gaya gempa sebanding dengan massa struktur. Produk yang dihasilkan meliputi bata interlock foam concrete, panel dinding pracetak, penutup drainase, dan alas jembatan, yang menunjukkan kinerja stabil pada uji aplikasi lapangan terbatas. Implementasi teknologi pada skala industri dilakukan di Aceh dengan kapasitas produksi terukur, penerapan prosedur operasi standar, serta sistem pengendalian mutu (QA/QC) untuk mengontrol densitas, kekuatan, dan dimensi produk. Dari sisi ekonomi, pemanfaatan biomassa sawit sebagai bahan konstruksi memberikan nilai tambah hingga 7–9 kali lipat dibandingkan jika biomassa dijual sebagai komoditas energi. Berdasarkan capaian teknis, operasional, dan ekonomi tersebut, teknologi ini dinyatakan telah mencapai Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) Level 9, sehingga siap diadopsi secara luas untuk mendukung pembangunan rumah ramah gempa dan industri konstruksi berkelanjutan di Indonesia.



PROGRAM PENELITIAN & PENGEMBANGAN INDUSTRI BETON PRECAST BERBASIS FOAM CONCRETE DENGAN BAHAN SUBSTITUSI LIMBAH BIOMASSA SAWIT

NOMOR KONTRAK: PRJ-88/DPKS/2023 (TANGGAL 25 SEPTEMBER 2023)

KETUA

Prof. Dr. Ir. Izarul Machdar, M. Eng.
machdar@usk.ac.id
Hp: 0813-60-175486

ANGGOTA

Dr. Ir. Abdullah, M. Sc
Sofyan, S.T., M.T.
Wahyu Rinaldi, S.T. M.Sc.
Dr. Ernawati, S.P., M. Si

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SYIAH KUALA



B P D P

01

LATAR BELAKANG

Indonesia secara geografis dilalui oleh pertemuan tiga jalur lempeng tektonik yang menyebabkan sering terjadinya gempa. Salah satu metode mitigasi bencana gempa adalah menggunakan material konstruksi bangunan yang ringan. Foam concrete (beton busa) adalah salah satu jenis beton ringan. Foam concrete dibuat dengan men-campur semen, air, foam, dan agregat ringan. Salah satu contoh agregat ringan adalah biomassa limbah sawit.



02

TUJUAN

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah industri sawit (cangkang atau abu boiler) untuk pembuatan beton precast berbasis foam concrete untuk produksi panel-panel rumah ramah gempa.

03

METODOLOGI

Fokus penelitian yang dilakukan, yakni pengembangan formulasi foam agent dan perancangan mixing tank untuk kapasitas komersial foam agent; penentuan konsentrasi efektif bahan coating biomassa sawit; pengujian kekuatan foam concrete dengan berbagai variasi densitas beton dan kandungan biomassa sawit coating dan non-coating; perancangan dan produksi panel; pembangunan industri foam concrete; dan pembangunan rumah contoh tipe-36 berbasis foam concrete.

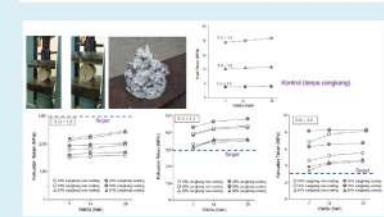
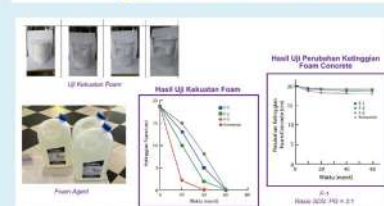


REFERENSI

- 1) Rishal Jannah, Izarul Machdar, Abdullah, Sofyan, Wahyu Rinaldi, and Ernawati. (2023) An Experimental Batch Study on Separation of Palm Kernel and Palm Shell with Salt Solution. The 12th Annual International Conference (AIC).
- 2) Rishal Jannah, Izarul Machdar, and Abdullah, Sofyan, and Giyanti. (2024). Improving the Bonding Properties of Palm Kernel Shell in Foam Concrete Using Nano Coating. The 5th International Conference of Chemical Engineering and Applied Science (ICCEAS-2024).
- 3) Abdullah Mahmud, Izarul Machdar, Sofyan, Wahyu Rinaldi, Ernawati, Rishal Jannah, Giyanti. (2025). Development of lightweight foamed concrete using surface-modified oil palm kernel shell. Journal of Ecological Engineering. 2025. 20(6). 116-119 <https://doi.org/10.1201/22949961202506>
- 4) Abdullah Mahmud, Izarul Machdar, Sofyan, Wahyu Rinaldi, Ernawati. (2025). Panel Dinding Precast Beton Ringan Bina Dengan Agregat Cangkang Sawit Nano-Coating Untuk Aplikasi Konstruksi Berkeadilan. Aplikasi Paten No. 900202510203

04

HASIL-HASIL



Rumah contoh foam concrete Industri bata foam concrete

05

ANALISIS

Penelitian ini diawali dengan pengembangan foam agent sebagai bahan pembentuk busa dalam produksi foam concrete. Foam agent diformulasikan menggunakan surfaktan (sodium dodekil sulfat), pelarut (propilen glikol), dan bahan penstabil untuk menghasilkan busa dengan struktur stabil dan seragam. Diperoleh, bahwa selama pemakaian, pengenceran (dengan air) dapat dilakukan hingga 20 kali. Foam agent telah dikomersilkan dengan merek FoamMac. Tahap selanjutnya adalah pengembangan beton ringan berbasis foam concrete dengan bahan substitusi limbah biomassa sawit, yaitu cangkang sawit dan limbah clinker boiler. Biomassa sawit dimodifikasi melalui proses pretreatment dan pelapisan (coating dan nano-coating) untuk meningkatkan stabilitas dan memperbaiki interaksi dengan matriks semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa foam concrete memiliki densitas kering 1.000-1.400 kg/m³, jauh lebih ringan dibandingkan beton konvensional. Foam concrete dengan isian cangkang sawit mencapai kuat tekan lebih besar dari 6 MPa, sedangkan penggunaan clinker boiler menghasilkan kuat tekan 12-18 MPa. Sebagai bagian dari hilirisasi teknologi, penelitian ini berhasil membangun industri beton ringan precast yang memproduksi bata foam berukuran 60 × 20 × 10 cm (Rp10.000/biji) dan 60 × 20 × 7,5 cm dengan harga Rp 8.000/biji. Teknologi ini juga diaplikasikan pada pembangunan rumah contoh tipe 36 menggunakan panel foam concrete. Secara keseluruhan, teknologi ini telah mencapai TKT Level 9, yang menunjukkan kesiapan implementasi pada skala industri dan aplikasi konstruksi rumah gempa.

06

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan teknologi beton ringan berbasis foam concrete dengan bahan substitusi biomassa sawit, yang meliputi cangkang sawit dan limbah clinker boiler. Foam agent lokal (FoaMac) yang dikembangkan mampu menghasilkan busa stabil sehingga membentuk struktur pori yang homogen pada beton ringan. Foam concrete yang dihasilkan memiliki densitas 1.000-1.400 kg/m³ dengan kuat tekan lebih besar dari 6 MPa untuk isian cangkang sawit dan 12-18 MPa untuk isian clinker boiler. Penelitian ini juga berhasil membangun industri bata foam concrete serta rumah contoh tipe 36 sebagai model aplikasi teknologi. Secara keseluruhan, teknologi ini telah mencapai TKT Level 9 dan siap diimplementasikan pada industri konstruksi rumah gempa.



45

Pengembangan Sistem Real-Time Greenhouse Gas Footprints berbasis Internet of Things di Industri Kelapa Sawit Hulu-Hilir

Peneliti: Valensi Kautsar, Ph.D., Dr. Sri Gunawan, SP., MP., Dr. Yohana Theresia Maria Astuti, M.Si., Dr. Siti Maimunah, S.Hut., MP., Fadhlullah Ramadhani, Ph.D., Amir Noviyanto, S.P., M.Sc., Yovi Avianto, S.P., M.Sc.

Industri kelapa sawit memiliki peran strategis dalam perekonomian Indonesia, namun pada saat yang sama menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan emisi gas rumah kaca. Aktivitas produksi kelapa sawit dari hulu hingga hilir melibatkan berbagai proses yang berpotensi menghasilkan emisi, mulai dari kegiatan budidaya di lahan, pengelolaan limbah cair pabrik kelapa sawit, aktivitas pembakaran atau proses termal di pabrik, hingga transportasi tandan buah segar dan produk olahan. Kompleksitas tersebut menyebabkan sumber emisi pada industri kelapa sawit bersifat beragam, tersebar di banyak titik, dan berubah mengikuti kondisi lingkungan maupun aktivitas operasional.

Selama ini, pemantauan dan penghitungan emisi gas rumah kaca pada industri kelapa sawit masih banyak dilakukan melalui pendekatan estimatif berbasis faktor emisi dan pelaporan periodik. Pendekatan tersebut belum cukup mampu menggambarkan kondisi emisi aktual di lapangan. Emisi dari lahan, kolam limbah, cerobong, dan transportasi dapat berubah dari waktu ke waktu, dipengaruhi oleh kelembapan tanah, aktivitas mikroba, proses dekomposisi bahan organik, efisiensi pembakaran, intensitas operasi pabrik, serta aktivitas logistik harian. Karena itu, sistem pemantauan yang hanya bersifat periodik berisiko tidak menangkap dinamika emisi secara utuh. Keterbatasan tersebut menjadi semakin penting karena industri kelapa sawit saat ini dituntut untuk memperkuat transparansi dan akuntabilitas lingkungan.

Upaya penurunan emisi, penerapan strategi keberlanjutan, penguatan sistem Measurement, Reporting, and Verification (MRV), serta kesiapan terhadap instrumen nilai ekonomi karbon (NEK) membutuhkan data yang lebih akurat, terdokumentasi, dan dapat ditelusuri. Tanpa dukungan sistem pemantauan yang terintegrasi, penentuan sumber emisi utama, evaluasi efektivitas mitigasi, dan penyusunan baseline emisi akan sulit dilakukan secara kuat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Perkembangan teknologi sensor, Internet of Things, penginderaan jauh, dan WebGIS membuka peluang untuk membangun sistem pemantauan emisi yang lebih modern. Melalui teknologi tersebut, data dari berbagai sumber emisi dapat dikumpulkan secara lebih kontinu, disimpan dalam basis data, dianalisis secara temporal, serta ditampilkan dalam bentuk visualisasi spasial. Integrasi antara pengukuran emisi dan informasi stok karbon juga penting agar evaluasi tidak hanya melihat sumber emisi, tetapi juga kemampuan lanskap perkebunan dalam menyimpan karbon.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, pengembangan sistem pemantauan gas rumah kaca yang real-time, multi-sumber, dan berbasis spasial menjadi langkah penting dalam transformasi tata kelola lingkungan industri kelapa sawit. Sistem ini diharapkan mampu menggeser pendekatan pemantauan dari sekadar estimasi periodik menuju pengukuran aktual berbasis data lapangan, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, transparan, dan berbasis bukti.



NO KONTRAK: PRJ-171/DPKS/2024

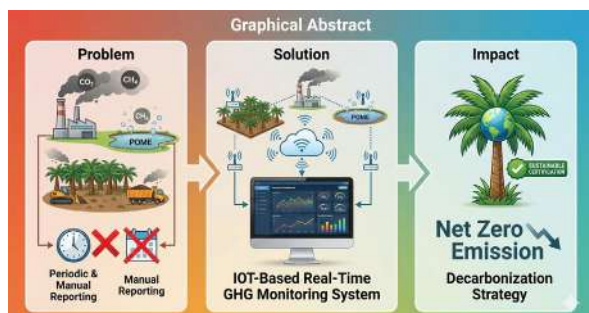
PENGEMBANGAN SISTEM REAL-TIME GREENHOUSE GAS FOOTPRINTS BERBASIS INTERNET OF THINGS DI INDUSTRI KELAPA SAWIT HULU - HILIR

Valensi Kautsar, S.P., M.Sc., Ph.D.; Dr. Sri Gunawan, S.P., M.P.; Dr. Yohana Theresia Maria Astuti, M.Si.; Dr. Ir. Siti Maimunah, S.Hut., M.P.; IPU ASEAN Eng.; Fadhullah Ramadhani, S.Kom., M.Sc., Ph.D.; Amir Noviyanto, S.P., M.Sc.; Yovi Avianto, S.P., M.Sc.

1 INTRODUCTION

Industri kelapa sawit berperan penting dalam perekonomian nasional, namun juga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) dari aktivitas hulu hingga hilir, termasuk lahan, kolam limbah (POME), cerobong pabrik, dan transportasi. Sistem pemantauan emisi yang masih berbasis estimasi periodik belum mampu menggambarkan dinamika emisi aktual secara akurat dan terintegrasi.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pembangunan sistem monitoring emisi GRK secara real-time, otomatis, dan berbasis data lapangan. Integrasi sensor, transmisi data, dan dashboard analitik memberikan informasi jejak karbon yang lebih presisi untuk mendukung sistem Measurement, Reporting, and Verification (MRV).



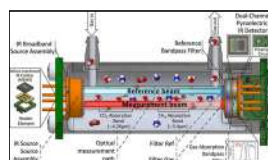
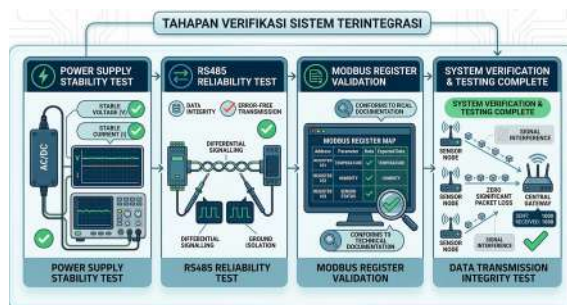
Penelitian ini mengembangkan sistem Real-Time Greenhouse Gas Footprints Berbasis IoT untuk meningkatkan akurasi pelaporan emisi dan mendukung transformasi industri sawit menuju praktik rendah karbon dan Net Zero Emission.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan platform digital terpadu yang menggabungkan:

1. sensor emisi berbasis IoT,
2. database time-series untuk data emisi real-time,
3. database spasial untuk stok karbon, dan
4. dashboard WebGIS sebagai lapisan integrasi visualisasi dan analitik.

Integrasi dilakukan bukan pada level penyimpanan data, tetapi pada level platform, sehingga sistem lebih fleksibel, terstruktur, dan skalabel untuk kebutuhan operasional industri.

2 METHODS



Teknologi Non-Dispersive Infrared (NDIR)



Arsitektur Komunikasi Bertingkat

3 RESULTS END DISCUSSION

Keberhasilan Pengembangan Platform Digital

Penelitian ini berhasil menghasilkan dashboard Real-Time Monitoring Gas Rumah Kaca yang berfungsi untuk menampilkan data dari beberapa node sensor secara langsung. Dashboard menampilkan status sensor aktif, parameter gas utama, waktu pembaruan data, grafik deret waktu emisi, dan antarmuka WebGIS untuk melihat distribusi spasial sensor dan stok karbon. Luaran ini menunjukkan bahwa penelitian telah mencapai tahap platform operasional, bukan hanya prototipe laboratorium. Temuan ini konsisten dengan rancangan sistem pada laporan akhir yang menempatkan dashboard interaktif dan WebGIS sebagai luaran utama penelitian.

Sistem Mendukung Perhitungan Flux dan GWP

Sistem yang dikembangkan tidak hanya membaca konsentrasi gas, tetapi juga mengolah data menjadi laju emisi (flux) dan dampak pemanasan global (GWP). Perhitungan flux dilakukan berbasis perubahan konsentrasi gas dalam chamber tertutup, volume chamber, waktu pengamatan, dan luas area pengukuran. Integrasi ini penting karena memungkinkan transformasi data sensor menjadi parameter ilmiah yang relevan untuk analisis emisi dan evaluasi dampak iklim.

Emisi GRK pada Lahan TBM Bersifat Heterogen

Pengukuran pada lahan TBM menunjukkan variasi emisi yang nyata antar lokasi. Nilai GWP total tertinggi ditemukan pada Lahan 3 sebesar 0,1822 t CO₂-eq ha⁻¹, diikuti Lahan 1 sebesar 0,0548 t CO₂-eq ha⁻¹, sedangkan Lahan 2 menunjukkan nilai sangat rendah hingga dibulatkan menjadi 0. Variasi ini menunjukkan bahwa emisi lahan tidak semata ditentukan oleh tipe penggunaan lahan, tetapi sangat dipengaruhi oleh kondisi mikro seperti kelembapan tanah, aerasi, kandungan bahan organik, dan aktivitas mikroba. Pada lokasi dengan fluktuasi CH₄ yang lebih tinggi, nilai GWP total juga cenderung meningkat.

Kolam POME Menjadi Hotspot Emisi Biologis

Pengukuran pada kolam limbah menunjukkan bahwa emisi tidak seragam antar kolam. Kolam 3 memiliki nilai tertinggi yaitu 0,5501 kg CO₂-eq m⁻³, diikuti Kolam 5 sebesar 0,0847 kg CO₂-eq m⁻³, sedangkan Kolam 7 menunjukkan nilai paling rendah, sekitar 0,0126-0,0128 kg CO₂-eq m⁻³. Temuan ini mengindikasikan bahwa tahap dekomposisi limbah, beban organik, kondisi anaerob, dan aktivitas mikroba sangat menentukan intensitas emisi. Dengan demikian, kolam POME merupakan kompartemen kritis yang perlu diprioritaskan dalam strategi mitigasi emisi.

Cerobong Didominasi Emisi CO₂

Pada cerobong, konsentrasi CO₂ berada pada kisaran sekitar 1220-1560 ppm dan menjadi komponen dominan, sedangkan N₂O berada pada kisaran jauh lebih rendah, yaitu sekitar 125-165 ppm. Pola ini menunjukkan bahwa sumber emisi dari cerobong relatif lebih stabil dan lebih sederhana dibanding kolam limbah, karena didominasi proses pembakaran yang menghasilkan CO₂ sebagai gas utama. Oleh karena itu, pengendalian emisi cerobong terutama perlu diarahkan pada penurunan CO₂, meskipun N₂O tetap penting dipantau karena memiliki potensi pemanasan global yang tinggi per satuan massa.

Transportasi Truk Berkontribusi pada Emisi Operasional

Rerata emisi pada komponen transportasi tercatat sebesar 200 kg CO₂-eq hari⁻¹. Data sensor menunjukkan bahwa CO₂ merupakan gas dominan dengan kisaran sekitar 460-700 ppm, sedangkan CH₄ relatif rendah dan stabil pada kisaran 10-12 ppm. Temuan ini menunjukkan bahwa emisi dari truk lebih merepresentasikan emisi teknis-operasional yang terkait dengan konsumsi bahan bakar, intensitas penggunaan kendaraan, efisiensi mesin, dan durasi operasi. Walaupun kontribusinya tidak sebesar kolam limbah, sumber ini tetap penting karena bersifat berulang dan berlangsung terus selama kegiatan produksi.

Informasi Emisi Berhasil Diintegrasikan dengan Konteks Spasial Karbon

Selain pemantauan emisi, sistem juga mengintegrasikan peta stok karbon ke dalam WebGIS. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi emisi dilakukan dalam konteks distribusi karbon lanskap, sehingga sumber emisi dan kompartemen penyimpanan karbon dapat dianalisis secara lebih utuh. Dalam laporan akhir, peta stok karbon hasil penginderaan jauh disimpan sebagai layer georeferensi dan digunakan sebagai komponen utama dalam platform WebGIS.

Stok Karbon Kebun dan HC VF Memperkuat Analisis Sistem Karbon

Pada kebun sawit, fase TM Prime menunjukkan stok karbon total tertinggi, yaitu 233,49 t ha⁻¹, lebih tinggi dibanding TM Old 147,08 t ha⁻¹ dan TBM 43,21 t ha⁻¹. Pada kawasan HC VF, rata-rata stok karbon biomassa mencapai 191,44 tC ha⁻¹, menunjukkan bahwa area konservasi berperan sebagai reservoir karbon penting dalam lanskap perkebunan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menilai sumber emisi, tetapi juga mengkaji kapasitas penyimpanan karbon sebagai komponen penting dalam neraca karbon sistem.



Dashboard WebGIS stok carbon biomassa



Dashboard global warming potential



Dashboard monitoring gas rumah kaca



Dashboard keseluruhan node sensor gas



Instalasi prototipe di lahan



Instalasi prototipe di kendaraan



Instalasi prototipe di server IoT



Instalasi tower server

4 CONCLUSION

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem real-time greenhouse gas footprints berbasis IoT yang mampu memantau emisi dari lahan, kolam POME, cerobong, dan truk, serta mengintegrasikannya dengan data stok karbon dalam dashboard WebGIS. Sistem ini membuktikan bahwa pemantauan GRK pada industri kelapa sawit dapat dilakukan secara temporal, spasial, multi-sumber, dan operasional. Dengan demikian, platform yang dihasilkan berpotensi kuat mendukung implementasi MRV karbon, strategi mitigasi emisi, dan pengambilan keputusan lingkungan berbasis bukti di sektor kelapa sawit.

CAPAIAN

1. Prototipe sistem monitoring emisi gas rumah kaca yang berstatus terdaftar paten sederhana berjumlah 4 item.
2. Publikasi ilmiah di jurnal internasional terindex scopus Q1 berjumlah 1 item dan Q2 berjumlah 1 item.
3. Purwarupa dashboard webGIS sistem monitoring gas rumah kaca

46

Pengembangan Teknologi Produksi Gula Cair dari Batang Sawit Tua untuk Mendukung Program Peremajaan Sawit Rakyat

Peneliti: Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc. dan tim peneliti

Nira batang kelapa sawit tua (umur tanam 20 ± 5 tahun) yang dihasilkan dari perkebunan pada periode waktu replanting sangat berpotensi sebagai sumber bahan baku gula cair. Hal ini disebabkan oleh kandungan gula total nira batang kelapa sawit tua dapat mencapai 18,0%.. Metode yang digunakan untuk produksi gula cair adalah sebagai berikut : Batang kelapa sawit yang tua ditebang, kemudian disadap nira nya dari bagian umbut (Metode I), atau ukuran gelondongan diperkecil hingga sekitar 3m panjangnya. Kemudian batang yang telah dipotong disimpan dalam ruang penyimpanan pada suhu (25 ± 5 °C), kelembaban relatif $75 \pm 5\%$ selama 4 minggu. Setelah itu, batang dikupas dan dicacah menjadi partikel-partikel kecil, kemudian dipres menggunakan screw press untuk mengekstrak nira (Metode II). Nira yang diperoleh disaring dengan kain saring 200 mesh dua lapis, kemudian diuapkan hingga total padatan terlarut mencapai $65 \pm 5^\circ$ brix. Pengolahan nira sadap yang ditampung dengan penambahan Ca(OH)_2 sampai pH 7, kemudian diuapkan diatas kompor menggunakan panci terbuka menghasilkan gula cair terbaik dengan warna coklat kekuningan, aroma dan penerimaan keseluruhan yang disukai panelis. Kemudian pemasakan nira press pada panci terbuka menghasilkan rendemen gula cair sebesar 24%, waktu pemanasan yang dibutuhkan untuk menguapkan nira sebanyak 5 L , pemanasan terbuka menggunakan kompor gas api kecil adalah sekitar 135 menit. Sedangkan Scaling up prooduksi menjadi 200 L nira segar menggunakan open pan pemanasan system tidak langsung (Steam Jacketed Kettle) memerlukan waktu sekitar 60 menit. Gula cair tersebut memiliki karakteristik pH 5,5, 72° brix, kadar abu 3,17%, total gula reduksi 87,82 g/100 g, total senyawa fenolik 872,7 mg/100 g, total flavonoid 28,42 mg/100 mg, aktivitas antioksidan DPPH sebesar 80,394% dan aktivitas antioksidan ABTS sebesar 89,300%.

Perlakuan terbaik memiliki profil gula yang menunjukkan kadar glukosa, fruktosa dan sukrosa masing-masing sebesar 21,31%, 12,57% dan 8,66%, nilai IC50 sebesar 19,44 ppm (ABTS) dan 136,36 ppm (DPPH), Hidroksimetilfulfural (HMF) dan logam berat tidak terdeteksi serta mengandung mineral meliputi Ca, Mg, Fe, Mg, F, K, Se, Z, dan Na. Secara sensori gula cair berwarna coklat bening, rasa manis, tidak memiliki aftertaste pahit, dan penerimaan keseluruhan disukai oleh panelis, nilai kalori sebesar 232,86 k kalori /100 g dengan prediksi masa simpan selama 2 tahun. Berdasarkan asumsi asumsi tertentu, hasil perhitungan hasil NPV , IRR , Net B/C PBP menunjukkan usaha layak dilakukan. Scaling up produksi dari skala laboratorium menjadi skala mini plant dengan kapasitas 200 L gula cair per menggunakan metode penyadapan layak dilakukan dengan harga pokok produksi Rp. 22.020 dan harga jual Rp.29.500 per liter; BEP 37.608 liter; PBP 2,45 tahun; Profitability Index (PI) adalah 3,0487; IRR adalah 58,59%; NPV positif sebesar Rp 1,655 Miliar.




PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PRODUKSI GULA CAIR DARI BATANG SAWIT TUA UNTUK Mendukung PROGRAM PEREMAJAAN SAWIT RAKYAT

Potensi batang kelapa sawit tua (umur tanam 20±5 tahun) yang dihasilkan saat replanting dapat dimanfaatkan sebagai sumber nira.

Dua pertiga dari batang sawit tua dapat menghasilkan nira sawit ±100L nira dengan proses pengepresan.

Apabila dalam per hektarnya terdapat ±100 batangsawit berarti potensi nira yang dihasilkan adalah 5.000L/ha

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi pembuatan gula cair serta mengkaji aspek tekoekonomi produksi gula cair dari nira batang kelapa sawit tua

PROSES PEMBUATAN GULA CAIR

1 METODE PENYADAPAN



Penderasan Nira Batang Kelapa Sawit Tua



Nira Batang Kelapa Sawit Tua



Pemasakan Nira Sadap Batang Sawit Tua



Gula cair nira sadap batang kelapa sawit tua

2 METODE PENGEPRESAN



Penebangan Batang Kelapa Sawit Tua



Pengecilan Ukuran Batang Kelapa Sawit Tua



Penyerutan Batang Kelapa Sawit Tua



Gula Metode Press Batang Kelapa Sawit Tua



Pemasakan Nira Press Batang Kelapa Sawit Tua



Nira Press Batang Kelapa Sawit Tua



Pengepresan Batang Kelapa Sawit Tua

KELOMPOK PENELITI

1 Prof. Dr. Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc.

2 Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., M.Phil.

3 Dr. Wisnu Satyajaya, S.T.P., M.Si., M.Phil.

4 Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.

5 Aris Setiawan, S.T., M.Eng.

6 Nurbaiti, S.T.P., M.T.P.

✉ siti.nurdjanah@fp.unila.ac.id

SPEKIFIKASI KANDUNGAN GULA CAIR

Properties	Nilai
Kadar Air (%)	36,64
Kadar Abu (%)	3,17
Kadar Protein (%)	8,65
Kadar Lemak (%)	0,02
Karbohidrat (%)	49,52
Sukrosa (%)	8,66
Fruktosa (%)	12,57
Glukosa (%)	21,31
Total Fenol (mg/100mg)	872,78
Total Flavonoid (mg/100mg)	26,74
Total Antioksidan (ABTS)	89,30%

DIVERSIFIKASI PRODUK





GULA LEMON GULA KOPI GULA JAHE

KEMASAN PRODUK



INFORMASI NILAI GIZI JUMLAH PER SAJIAN 100 GRAM

Energi Total	232,86 kcal
Lemak Total	0,02 g
Protein	8,65 g
Karbohidrat Total	49,52 g
Gula	49,52 g
Garam (Natrium)	0 mg

Hasil perhitungan hasil NPV, IRR, Net B/C PBP menunjukkan usaha layak dilakukan. Scaling up produksi dari skala laboratorium menjadi skala mini plant dengan kapasitas 200 L gula cair per menggunakan metode penyadapan layak dilakukan dengan harga pokok produksi Rp. 22.020 dan harga jual Rp. 29.500 per liter; BEP 37.608 liter; PBP 2,45 tahun; Profitability Index (PI) adalah 3,0487; IRR adalah 58,59%; NPV positif sebesar Rp 1,655 Miliar.

47

Uji Multilokasi Faktor Emisi Lahan Gambut Indonesia Yang Didrainase Untuk Budidaya Kelapa Sawit: Perhitungan Faktor Emisi Berdasarkan Beberapa Metode Pengukuran Emisi Karbon

Peneliti: Dr. Ir. Heru Bagus Pulunggono, M.Agr.Sc. dan tim peneliti

Pengembangan perkebunan kelapa sawit/OPP di lahan gambut tropis saat ini tengah menjadi perhatian internasional, terutama terkait isu emisi gas rumah kaca (GRK). Di sisi lain, perhitungan faktor emisi/EF Tier 1 IPCC internasional dan Forest Reference Emission Level/FRL nasional untuk kelapa sawit/OP mengandung ketidakpastian yang tinggi dan tidak mempertimbangkan variabilitas spasiotemporal emisi dalam kelas penggunaan lahan yang sama, perubahan emisi sepanjang rejim drainase, dan emisi yang diserap kembali melalui fotosintesis. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung EF pada lahan gambut Kalimantan Selatan yang dikeringkan untuk OPP menggunakan tiga metode penentuan emisi GRK (Eddy Covariance/EC, sungkup, dan subsiden) di berbagai lokasi, sumber, skala, musim, dan ketebalan gambut. Rerata harian net fluks (raw) sebesar 0.31 ± 0.08 Mg CO₂ ha⁻¹ hari⁻¹ atau 8.91 ± 1.60 Mg CO₂ ha⁻¹ bulan⁻¹. Pada siang hari, perkebunan kelapa sawit di lokasi kajian mensekuestrasikan CO₂ sebesar -0.064 ± 0.058 Mg CO₂ ha⁻¹, sedangkan pada malam hari fluks netto yang terukur sebesar 0.369 ± 0.044 Mg CO₂ ha⁻¹. Net fluks (raw) pada siang hari berkorelasi dengan fluks air dan radiasi/panas/energi secara non linier berkekuatan menengah ($R^2 = 0.22 - 0.51$), namun secara lemah dengan karakteristik tanah (suhu dan kadar air tanah) dan komponen angin (u^*). Berdasarkan hasil pengukuran berbasis trenching bulanan sepanjang Maret 2024 hingga Maret 2026, fluks CO₂ yang berasal total respirasi (R_t) sebesar 3.43 ± 0.08 Mg ha⁻¹ bulan⁻¹ atau sekitar 41.14 ± 0.96 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹. Fluks CO₂ hasil respirasi heterotrofik (R_h) sebesar 2.78 ± 0.08 Mg ha⁻¹ bulan⁻¹ atau sekitar 33.36 ± 0.96 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹. Fluks CO₂ hasil respirasi autotrofik (akar; R_a) sebesar 1.92 ± 0.08 Mg ha⁻¹ bulan⁻¹ atau sekitar 23.04 ± 0.96 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹. Fluks CO₂ hasil dekomposisi serasah (R_i) sebesar 1.26 ± 0.06 Mg ha⁻¹ bulan⁻¹ atau sekitar 15.12 ± 0.72 Mg ha⁻¹ tahun⁻¹. Fluks CO₂ R_h tertinggi terdapat pada gambut sedalam 200 – 300 cm ($P = 0.001$), pada jarak terdekat dengan OP ($P < 0.001$), dan pada musim kemarau ($P < 0.001$; tertinggi dari keseluruhan fluks CO₂ R_h). Fluks CO₂ R_t tertinggi terdapat pada gambut sedalam 300 – 500 cm ($P < 0.001$), pada jarak terdekat dengan OP ($P < 0.001$; tertinggi dari keseluruhan fluks CO₂ R_t), dan pada musim kemarau ($P < 0.001$). Fluks CO₂ R_a dipengaruhi secara signifikan oleh jarak dari OP ($P < 0.001$), sedangkan pengaruh faktor lainnya tidak signifikan ($P > 0.05$).

Sementara itu, pengaruh keseluruhan faktor yang diuji tidak signifikan pada fluks CO₂ R_i. Pengukuran GRK berdasarkan sungkup konvensional dan GC pada periode pengukuran yang sama menghasilkan rerata fluks tahunan CO₂, CH₄, dan N₂O terukur masing-masing sebesar 5.7 ± 1.3 mg CO₂ m⁻² menit⁻¹ (29.8 ± 7.2 Mg CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹); 0.036 ± 0.012 mg CH₄ m⁻² menit⁻¹ (0.187 ± 0.061 Mg CH₄ ha⁻¹ tahun⁻¹); dan 0.003 ± 0.001 mg N₂O m⁻² menit⁻¹ (0.015 ± 0.005 Mg N₂O ha⁻¹ tahun⁻¹). Fluks CO₂ bulanan R_h berkorelasi secara kuat dengan tinggi muka air tanah ($R^2 = 0.52$; $P = 0.001$) serta curah hujan anteseden tiga bulan terakhir ($R^2 = 0.25$; $P < 0.05$). Fluks CO₂ berkorelasi secara kuat dengan asam asetat ($R^2 = 0.37$; $p < 0.05$), asam laktat ($R^2 = 0.45$; $p < 0.005$), dan asam sitrat ($R^2 = 0.47$; $p < 0.005$), namun tidak dengan asam malat dan oksalat ($P > 0.05$). Permukaan gambut pada lokasi penelitian mengalami osilasi dengan amplitudo yang relatif tinggi, dengan rata-rata subsiden sekitar -0.10 ± 0.05 cm bulan⁻¹ atau -1.22 ± 0.57 cm tahun⁻¹. Kehilangan karbon terkoreksi yang dihitung menggunakan metode subsiden menghasilkan $24,58 \pm 0,14$ Mg CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan kontribusi aktual terhadap emisi potensial sebesar $11,04 \pm 1,85\%$. Hasil studi ini membantu menghitung EF yang lebih komprehensif dan representatif (Tier 1 dan 2) untuk lahan gambut Indonesia yang dibudidayakan dengan OP.

UJI MULTILOKASI FAKTOR EMISI LAHAN GAMBUT INDONESIA YANG DIDRAINASE UNTUK BUDIDAYA KELAPA SAWIT

Perhitungan Faktor Emisi Berdasarkan Beberapa Metode Pengukuran Emisi Karbon

Funded by: Grant Research Sawit BPD PKS No. Kontrak: PRJ-86/DPKS/2023

Pulunggono, H.B.¹, Anwar, S.¹, Siswanto², Nurzakiah, S.³, Mulyawan, R.⁴, Sabiham, S.¹ | ¹Faperta, Departemen ITSL, ²PB, PPKS Unit Bogor, ³BRIN Bogor, Faperta, ⁴ULM Banjarbaru

Tujuan Penelitian

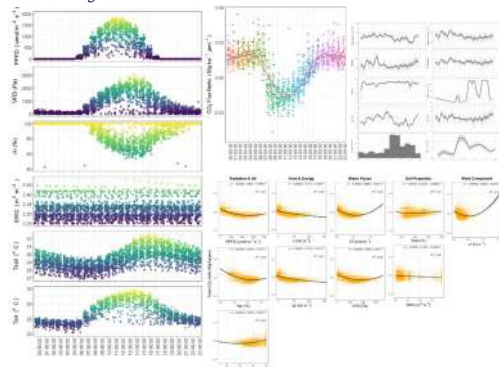
- Menetapkan faktor emisi gambut dengan mempertimbangkan hasil-hasil pengukuran emisi GRK menggunakan metode-metode subsiden, sungkup, dan Eddy Covariance serta hasil pengukuran karbon terlarut (DOC) pada pertanaman kelapa sawit
- Menetapkan kontribusi relatif penurunan emisi CO₂ pada tingkat nasional (NDC) dari sub-subsektor perkebunan kelapa sawit,
- Membangun dan mengembangkan model estimator emisi CO₂ berbasis kecerdasan buatan berdasarkan faktor-faktor lingkungan dan pengelolaan agronomis dan
- Mempublikasikan hasil penelitian dalam jurnal ilmiah bereputasi internasional dalam dan luar negeri (terutama Q1 atau Q2).



Spesifikasi Metode dan Instrumen	Desain Penelitian	Parameter yang diukur	Periode Waktu Pengukuran
Eddy Covariance & Biometeorology System	Atas Kanopi, 15 m tower	Net Ecosystem Exchange/Net Emisi CO ₂	30 menit
Automated Soil Flux CO ₂ System (LI-8100)	4 unit; 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 m dari sawit	Emisi CO ₂ Tanah: Respirasi Autotrofik & Heterotrofik	30 menit
Soil CO ₂ Trenching + Portable IRGA LI-830	36 unit; 3 perlakuan, 3 jarak, 4 kelas ketebalan gambut, 3 kelas umur	Emisi CO ₂ Tanah: Respirasi Autotrofik & Heterotrofik	1 bulan
Soil GRK Sungkup Konvensional + GC		Emisi CO ₂ , CH ₄ dan N ₂ O: Respirasi Autotrofik & Heterotrofik	1 bulan
Patok Subsiden & Dipwel (Manual+HOBOWL)	12 unit; 4 kelas ketebalan gambut, 3 kelas umur	Subsiden, Muka Air Tanah	1 bulan
Mikroorganisme Perombak	72 unit; 2 kedalaman, 3 perlakuan, 3 jarak, 4 kelas ketebalan gambut, 3 kelas umur	Metagenomik; mikroorganisme Heterotrofik Rizosfer: lignolitik, selulolitik, dan xilanolitik	4 bulan

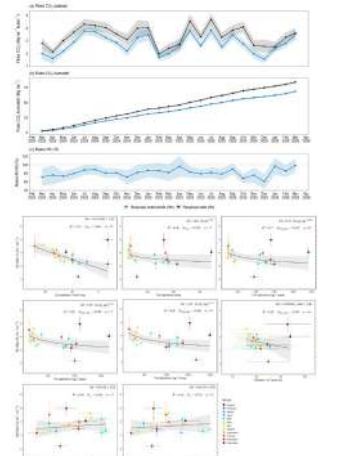
Net CO₂ di Atas Kanopi

Dinamika Diurnal Net Fluks CO₂ di Atas Kanopi dan Hubungannya dengan Parameter Biometeorologi



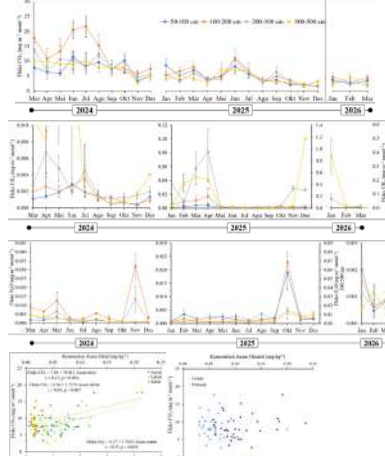
Fluks CO₂ Hasil Pengukuran Sungkup Trenching

Dinamika Fluks CO₂ Respirasi Total dan Heterotrofik serta Hubungannya dengan Parameter Biometeorologi



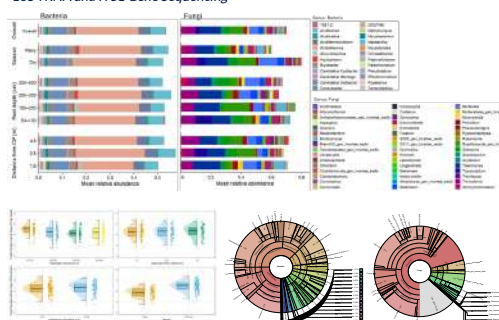
Fluks GRK Hasil Pengukuran Sungkup Konvensional

Dinamika Fluks CO₂, CH₄ dan N₂O serta Hubungannya dengan Parameter Tanah Lainnya



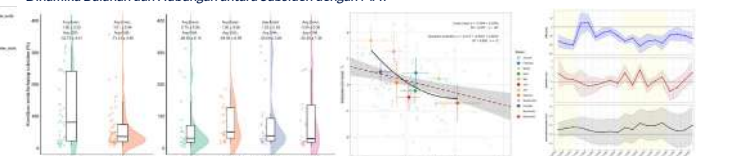
Analisis Metagenomik Bakteri dan Fungi Gambut

16S-rRNA and ITS1 Gene Sequencing



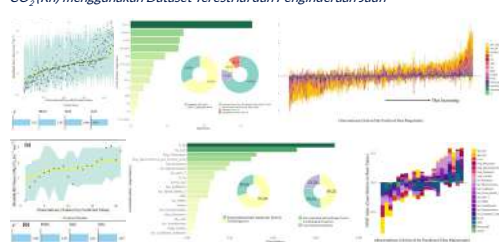
Subsiden dan Muka Air Tanah Gambut

Dinamika Bulanan dan Hubungannya antara Subsiden dengan MAT



Estimasi Fluks CO₂ melalui Pendekatan Kecerdasan Buatan

Implementasi Algoritma Quantile Regression Forest (QRF) dalam Pendugaan Fluks CO₂ (Rh) menggunakan Dataset Terestrial dan Penginderaan Jauh



Hasil dan Kesimpulan

- Rerata harian net fluks (*raw*) sebesar $0.31 \pm 0.08 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ hari}^{-1}$ atau $8.91 \pm 1.60 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ bulan}^{-1}$. Pada siang hari, perkebunan kelapa sawit di lokasi kajian mensekuestrasikan CO₂ sebesar $-0.064 \pm 0.058 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$, sedangkan pada malam hari fluks netto yang terukur sebesar $0.369 \pm 0.044 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$.
- Berdasarkan hasil pengukuran berbasis *trenching* bulanan sepanjang Maret 2024 hingga Maret 2026, fluks CO₂ yang berasal total respirasi (Rt) sebesar $3.43 \pm 0.08 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ bulan}^{-1}$ atau sekitar $41.14 \pm 0.96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Fluks CO₂ hasil respirasi heterotrofik (Rh) sebesar $2.78 \pm 0.08 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ bulan}^{-1}$ atau sekitar $33.36 \pm 0.96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Fluks CO₂ hasil respirasi autotrofik (akar) sebesar $1.92 \pm 0.08 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ bulan}^{-1}$ atau sekitar $23.04 \pm 0.96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Fluks CO₂ hasil dekomposisi serasah sebesar $1.26 \pm 0.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ bulan}^{-1}$ atau sekitar $15.12 \pm 0.72 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.
- Pengukuran GRK berdasarkan sungkup konvensional dan GC pada periode pengukuran yang sama menghasilkan rerata fluks tahunan CO₂, CH₄ dan N₂O terukur masing-masing sebesar $5.7 \pm 1.3 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ menit}^{-1}$ ($29.8 \pm 7.2 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$); $0.036 \pm 0.012 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ menit}^{-1}$ ($0.187 \pm 0.061 \text{ Mg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$); dan $0.003 \pm 0.001 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ menit}^{-1}$ ($0.015 \pm 0.005 \text{ Mg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$).
- Fluks CO₂ (Rt dan Rh) masing-masing dipengaruhi secara signifikan oleh ketebalan gambut ($P = 0.001$; $P < 0.001$), jarak dari pohon sawit dan musim ($P < 0.001$), sedangkan fluks Ra dipengaruhi secara signifikan oleh jarak dari pohon sawit ($P < 0.05$). Fluks CO₂ bulanan Rh berkorelasi kuat dengan tinggi muka air tanah ($R^2 = 0.52$; $P = 0.001$) serta curah hujan antededen tiga bulan terakhir ($R^2 = 0.25$; $P < 0.05$). Fluks CO₂ berkorelasi secara kuat dengan asam asetat ($R^2 = 0.37$; $p < 0.05$), asam laktat ($R^2 = 0.45$; $p < 0.005$), dan asam sitrat ($R^2 = 0.47$; $p < 0.005$), namun tidak dengan asam malat dan oksalat ($P > 0.05$).
- Permukaan gambut pada lokasi penelitian mengalami osilasi dengan amplitudo yang relatif tinggi, dengan rata-rata subsiden sekitar $-0.10 \pm 0.05 \text{ cm bulan}^{-1}$ atau $-1.22 \pm 0.57 \text{ cm tahun}^{-1}$. Kehilangan karbon terkoreksi yang dihitung menggunakan metode subsiden menghasilkan $24.58 \pm 0.14 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dengan kontribusi aktual terhadap emisi potensial sebesar $11.04 \pm 1.85\%$. Hasil studi ini membantu menghitung EF yang lebih komprehensif dan representatif (Tier 1 dan 2) untuk lahan gambut Indonesia yang dibudidayakan dengan kelapa sawit.

48

Life Cycle Assessment Produksi Sustainable Aviation Fuel Berbasis Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil

Peneliti: Sunu Herwi Pranolo, Joko Waluyo, Wusana Agung Wibowo, Firman Asto Putro, Prabang Setyono, Muflih Arisa Adnan, I G B Ngurah Makertiharta

Indonesia memiliki peluang strategis menjadi produsen utama Sustainable Aviation Fuel (SAF) berbasis minyak nabati di kawasan Asia-Pasifik. Kebutuhan SAF meningkat seiring implementasi kebijakan dekarbonisasi penerbangan internasional, khususnya Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). Penelitian ini memberikan dasar ilmiah, teknis, dan kebijakan pemanfaatan Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil (RBDPKO) sebagai bahan baku SAF mendukung SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau).

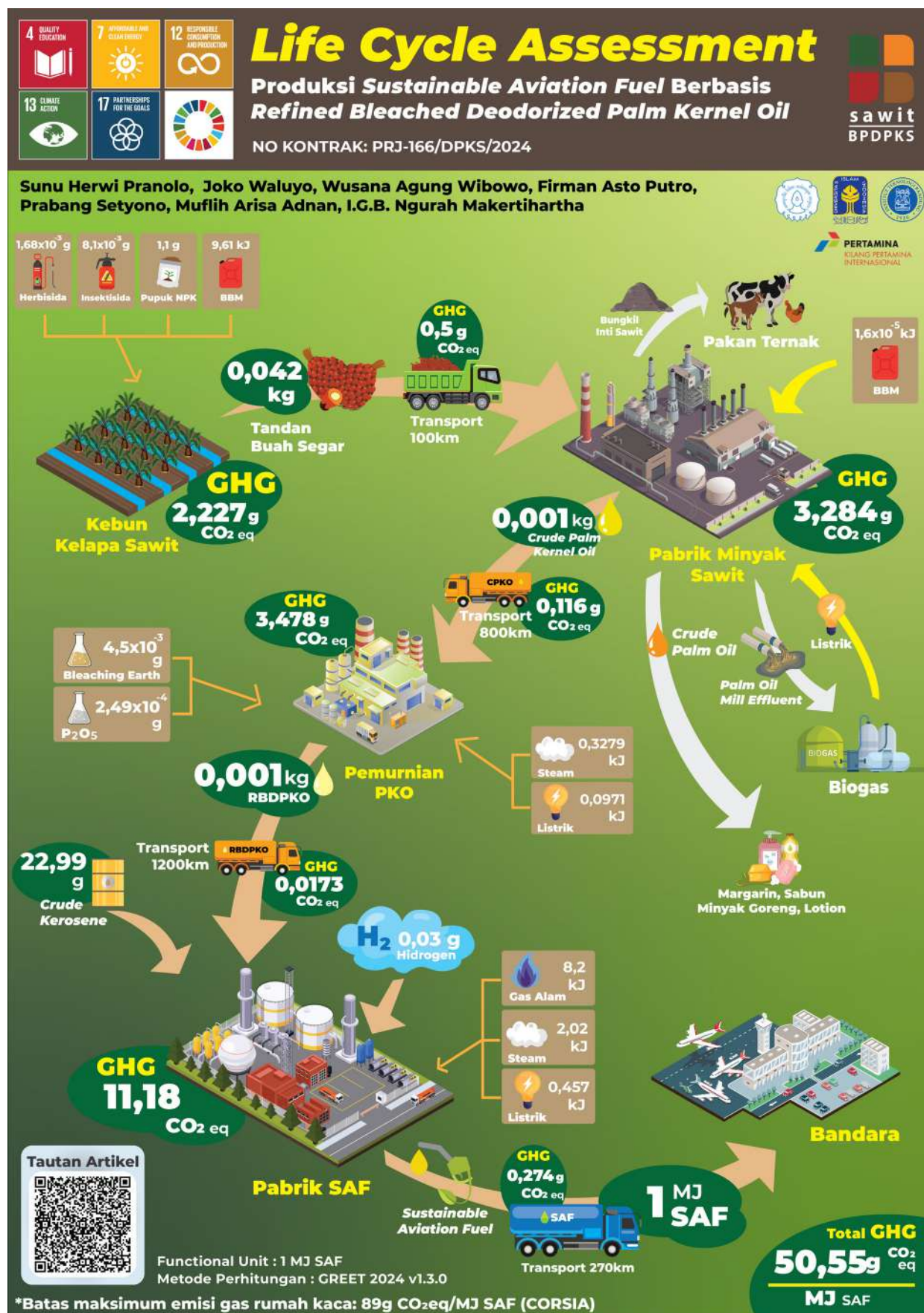
Riset dilaksanakan selama satu tahun melalui studi pustaka, Focus Group Discussion (FGD) dengan pemangku kepentingan industri dan akademisi, serta pengumpulan data primer dari fasilitas produksi RBDPKO dan SAF. Analisis teknis dilakukan menggunakan pendekatan termodinamika berbasis neraca massa dan energi dengan Aspen Plus. Evaluasi lingkungan menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) cradle-to-grave mencakup cultivation, indirect land use change (iLUC), pemurnian RBDPKO, konversi menjadi SAF, transportasi antartahap, hingga emisi pembakaran. Inventarisasi LCA dimodelkan menggunakan SimaPro, sementara intensitas emisi dihitung berdasarkan standar CORSIA menggunakan GREET.

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan dari POME-based biogas plant mampu menurunkan konsumsi energi fosil dan meningkatkan efisiensi proses konversi. Skenario pemanfaatan biogas sebagai sumber panas menghasilkan emisi CO₂e paling rendah. Pemanfaatan pencampuran RBDPKO sebanyak 2,5% pada bahan bakar pesawat menunjukkan potensi penerapan SAF di Indonesia sesuai dengan kondisi operasional kilang yang telah dikaji.

Dari sisi lingkungan, intensitas emisi SAF berbasis RBDPKO sebesar 50,55 g CO₂e/MJ (termasuk iLUC) berada jauh di bawah batas maksimum sebesar 89 g CO₂e/MJ yang dipersyaratkan oleh CORSIA, sehingga memenuhi dan melampaui kriteria keberlanjutan internasional serta berpotensi diajukan sebagai CORSIA Eligible Fuel. Pemenuhan ini sejalan dengan SDG-13 tentang Penanganan Perubahan Iklim.

Temuan ini dapat dimanfaatkan sebagai dokumen pendukung rekomendasi kebijakan. Indonesia perlu menyusun standar LCA SAF yang selaras dengan CORSIA serta mengembangkan mekanisme verifikasi nilai emisi untuk pengajuan nilai aktual kepada ICAO. Percepatan implementasi SAF memerlukan investasi pada fasilitas konversi berbasis feedstock lokal, pembangunan pilot plant, serta insentif efisiensi energi proses. Selain itu, diperlukan skema insentif fiskal dan mekanisme harga SAF nasional yang stabil untuk menjaga daya saing industri. Penguatan rantai pasok melalui ketersediaan RBDPKO yang berkelanjutan dan integrasi data antarpelaku industri menjadi fondasi keberlanjutan jangka panjang.

Penelitian ini berkontribusi langsung pada proses regulasi nasional melalui penyampaian dokumen perhitungan GREET kepada Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Hasil penelitian ini juga telah dipublikasikan pada dua jurnal internasional bereputasi serta dipresentasikan dalam seminar ilmiah internasional, sehingga memperkuat kontribusi Indonesia dalam diplomasi energi global dan mendukung SDG 17 (Kemitraan untuk Tujuan).



49

CELLULOSE NITRATE STANDAR MILITER KOMERSIL BERBASIS BIOPOLYMER SELULOSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK KEMANDIRIAN PERTAHANAN NEGARA

Peneliti: Widyastuti, Widiyastuti, Triyanda Gunawan, Vania Mitha Pratiwi, Hanifuddin Nurdiansyah

Kebutuhan Nitroselulosa pada tahun 2022 sekitar 101.000 ton dan terus mengalami peningkatan. Nitroselulosa dan Nitrogliserin menjadi bahan utama propelan berbasis ganda (Double Base Propellant). Propelan ini merupakan bahan dasar munisi dengan kebutuhan 821 Ton/tahun, sedangkan roket mencapai 6.000 unit/tahun, yang semuanya masih dipenuhi dari bahan impor. Terdapat pembatasan impor atas produk ini khususnya oleh negara-negara yang tergabung dalam Missile Technology Control Regime (MTCR). Disisi lain Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah sawit yang melimpah. Dari setiap ton tandan buah segar (TBS), sekitar 22–25%nya atau setara 0,22–0,25 ton berupa TKKS. Berdasarkan data FAO (2024), produksi TBS Indonesia mencapai 256 juta ton per tahun, sehingga limbah TKKS secara nasional diperkirakan mencapai 56–64 juta ton setiap tahunnya. TKKS mengandung selulosa hingga 35–50%. Serat dari TKKS ini telah berhasil disintesis menjadi Selulosa Nitrat (CN) atau Nitroselulosa (NC). Tujuan pertama penelitian ini, adalah mengoptimasi proses isolasi selulosa dari TKKS dengan metode Alkali Treatment dan Alkali Treatment-Autoclave Assisted. Tujuan kedua adalah mengoptimasi parameter proses sintesis Nitroselulosa untuk waktu nitrasi dan rasio asam terhadap selulosa TKKS. Karakterisasi produk dilakukan dengan FTIR, XRD, SEM, Uji Termal (DSC/TGA) dan laju pembakaran. Hasil isolasi selulosa dengan Alkali treatment-autoclave assisted mencapai $91,74\% \pm 0,18$; sedangkan dengan alkali treatment $80,52\% \pm 21$. Pada proses nitrasi 60 menit dan komposisi selulosa/acid mixture sebanyak 1:45 (gr/mL), NC yang terbentuk memiliki kadar nitrogen tertinggi 13,217%. Untuk NC yang disintesis dengan reaktor skala 1 kg memiliki kadar 12,56%. Capaian 9 luaran penelitian hingga Juni 2026 ini adalah 100%. Reaktor teruji kapasitas 1 kg isolasi selulosa dari TKKS dan nitrasinya. HKI Desain industri sistem nitrase no A00202506679 (29 Okt 2025). Paten terdaftar proses pembuatan CN dari selulosa TKKS no P00202511135 (29 Okt 2025). Kerjasama rencana produksi NC dengan PT. Komodo Armamet Indonesia, PT.

Sabatani Global Solusindo, Jurnal Q1 Bioresource Technology Report 34 (2026) 102732 terpublikasi dan kajian keekonomian. Jika diasumsikan periode konstruksi pabrik selama satu (1) tahun, masa operasional selama sepuluh (15) tahun dan pabrik dirancang untuk beroperasi selama 330 hari per tahun. Peningkatan kapasitas bertahap diterapkan untuk mencerminkan komisioning dan stabilisasi operasional yang realistis, dengan asumsi pemanfaatan pabrik sebesar 50% pada tahun pertama operasi, 75% pada tahun kedua, 95% pada tahun ketiga, dan 100% dari tahun keempat hingga tahun kelima belas. Berdasarkan asumsi ini, evaluasi keuangan menghasilkan perkiraan pengeluaran modal (CAPEX) sebesar USD 9,76 juta dan pengeluaran operasional tahunan (OPEX) sebesar USD 3,64 juta. Proyek ini menghasilkan nilai uang saat ini (NPV) sebesar USD 8,35 juta selama periode operasi lima belas tahun dan mencapai tingkat pengembalian internal (IRR) sekitar 14,26%, yang menunjukkan kelayakan ekonomi yang kuat. Analisis lebih lanjut menunjukkan periode pengembalian modal sekitar 7,4 tahun, yang mencerminkan jangka waktu pemulihan modal yang relatif singkat untuk fasilitas material energi skala percontohan.



KEMENTERIAN KEUANGAN
REPUBLIK INDONESIA



B P D P



PEKAN
RISET SAWIT
INDONESIA
2026

SOSIAL, EKONOMI MANAJEMEN, BISNIS, DAN ICT

50

Model Pengembangan Kelembagaan Petani Menuju Hilirisasi Produk Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Petani Kelapa Sawit

Peneliti: Hasnah, SP, MEc, PhD dan tim peneliti

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh lemahnya posisi tawar petani kelapa sawit swadaya dalam rantai pasok industri sawit, terutama saat terjadi penurunan drastis harga TBS pada pertengahan tahun 2022. Kondisi ini menyebabkan petani swadaya yang tidak memiliki kemitraan dengan perusahaan mengalami kerugian besar karena tidak terlindungi oleh kebijakan harga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang model kelembagaan petani yang mampu mendukung hilirisasi produk kelapa sawit secara mandiri melalui pembangunan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berbasis koperasi.

Penelitian menggunakan pendekatan mixed-method melalui wawancara mendalam, survei, FGD, dan benchmarking ke koperasi sukses, dengan analisis kuantitatif (SEM-PLS dan kelayakan finansial) serta kualitatif (MACTOR dan thematic analysis). Lokasi penelitian mencakup Sumatera Barat, Sumatera Utara, Kalimantan Selatan, dan Riau.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa koperasi yang telah berhasil melakukan hilirisasi antara lain Koperasi Sawit Makmur (kapasitas 45 ton TBS/jam) dan KJP-CPS (30 ton TBS/jam) di Kalimantan Selatan yang mengolah TBS menjadi CPO. Sementara itu, Koperasi Pujakesuma di Sumatera Utara memproduksi minyak makan merah sekitar 7,2 ton/hari, namun belum optimal karena skema produksinya masih bergantung pada pembelian CPO dari perusahaan sehingga menimbulkan biaya transaksi tinggi dan tidak memberikan nilai tambah langsung bagi petani. Selain itu, pemasaran minyak makan merah juga masih terbatas.

Di Sumatera Barat, sebagian besar koperasi (60%) telah memenuhi kesiapan kelembagaan, terutama terkait status lahan dan lokasi pabrik, dan sekitar 25% telah memiliki mitra pemasaran CPO. Secara umum, koperasi yang berhasil membangun PKS memiliki karakteristik berupa keterikatan kuat dengan petani, diversifikasi usaha, kemitraan strategis, serta pengelolaan profesional berbasis prinsip manajemen perusahaan.

Faktor pendukung keberhasilan hilirisasi meliputi pengalaman koperasi, jaringan bisnis, dan dukungan asosiasi, sedangkan hambatan utama adalah proses perizinan yang kompleks dan mahal. Hasil analisis SEM-PLS menunjukkan bahwa manfaat ekonomi—seperti peningkatan pendapatan, stabilitas harga, dan penciptaan lapangan kerja—menjadi faktor utama yang mendorong minat petani untuk membangun PKS. Faktor lain seperti informasi, kemitraan, dan kondisi ekonomi tidak signifikan secara statistik, namun tetap penting secara kualitatif. Analisis stakeholder dengan metode MACTOR menunjukkan bahwa aktor kunci dalam mendorong hilirisasi adalah Dinas Pertanian, Dinas Koperasi, dan Bappeda, sementara koperasi, akademisi, dan perbankan berperan sebagai penghubung. Investor dan perusahaan sawit memiliki pengaruh relatif lebih rendah.

Studi kasus pada PAMIGO KPUD Tuban Tri Bakti menunjukkan bahwa rendemen CPO relatif tinggi (20–21%), namun rendemen minyak goreng masih rendah (60–70%) dan perlu peningkatan teknis. Secara finansial, usaha ini layak dengan BC Ratio 1,10, NPV sekitar Rp999 juta, IRR 12,47%, dan payback period 6 tahun 8 bulan.

Berdasarkan temuan tersebut, dirancang model pengembangan kelembagaan petani yang menekankan penguatan koperasi, kemitraan pembiayaan, dukungan kebijakan, serta pengembangan pasar produk hilir. Model ini juga menegaskan pentingnya peningkatan skala usaha untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan. Secara keseluruhan, hilirisasi kelapa sawit di tingkat petani dapat dilakukan secara mandiri melalui koperasi yang dikelola profesional dan didukung oleh kebijakan serta pasar yang memadai, sehingga mampu meningkatkan kesejahteraan petani sawit swadaya.

MODEL PENGEMBANGAN KELEMBAGAAN PETANI KELAPA SAWIT MENUJU HILIRISASI PRODUK KELAPA SAWIT UNTUK MENINGKATKAN KESEJAHTERAAN PETANI KELAPA SAWIT

Hasnah, Melinda Noer, Rudi Febriamansyah, Devi Analia, Khandra Fahmy
✉ hasnah@agr.unand.ac.id

1 LATAR BELAKANG

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh lemahnya posisi tawar petani kelapa sawit swadaya dalam rantai pasok industri sawit, terutama saat terjadi penurunan drastis harga TBS pada pertengahan tahun 2022. Kondisi ini menyebabkan petani swadaya yang tidak memiliki kemitraan dengan perusahaan mengalami kerugian besar karena tidak terlindungi oleh kebijakan harga.

2 TUJUAN PENELITIAN

Merancang model kelembagaan petani yang mampu mendukung hilirisasi produk kelapa sawit secara mandiri melalui pembangunan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berbasis koperasi.



3 METODE

Penelitian menggunakan pendekatan mixed-method melalui wawancara mendalam, survei, FGD, dan benchmarking ke koperasi sukses, dengan analisis kuantitatif (SEM-PLS dan kelayakan finansial) serta kualitatif (MACTOR dan thematic analysis). Lokasi penelitian mencakup Sumatera Barat, Sumatera Utara, Kalimantan Selatan, dan Riau.



4 HASIL PENELITIAN



Secara umum, koperasi yang berhasil membangun PKS memiliki karakteristik berupa keterikatan kuat dengan petani, diversifikasi usaha, kemitraan strategis, serta pengelolaan profesional berbasis prinsip manajemen perusahaan.



Faktor pendukung keberhasilan hilirisasi meliputi pengalaman koperasi, jaringan bisnis, dan dukungan asosiasi, sedangkan hambatan utama adalah proses perizinan yang kompleks dan mahal.



Hasil analisis SEM-PLS menunjukkan bahwa manfaat ekonomi—seperti peningkatan pendapatan, stabilitas harga, dan penciptaan lapangan kerja—menjadi faktor utama yang mendorong minat petani untuk membangun PKS. Faktor lain seperti informasi, kemitraan, dan kondisi ekonomi tidak signifikan secara statistik, namun tetap penting secara kualitatif.



Analisis stakeholder dengan metode MACTOR menunjukkan bahwa aktor kunci dalam mendorong hilirisasi adalah Dinas Pertanian, Dinas Koperasi, dan Bappeda, sementara koperasi, akademisi, dan perbankan berperan sebagai penghubung. Investor dan perusahaan sawit memiliki pengaruh relatif lebih rendah.

ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL PAMIGO KPUD TUBAN TRI BAKTI

Kriteria	Nilai
B/C	1,1
NPV	Rp999.076.824
IRR	12,47%
Payback period	6 tahun 8 bulan

ANALISIS STAKEHOLDER (MACTOR)



5 KESIMPULAN

Faktor-faktor pendukung keberhasilan hilirisasi di tingkat petani meliputi:

- ✓ Kelembagaan koperasi yang kuat dan berpengalaman.
- ✓ Kemitraan strategis dengan investor dan lembaga keuangan.
- ✓ Dukungan kebijakan dari pemerintah pusat dan daerah.
- ✓ Partisipasi aktif petani dalam pengelolaan dan kepemilikan PKS.



Studi ini menunjukkan bahwa meskipun petani di Indonesia memiliki tingkat penerimaan yang tinggi terhadap pengembangan pabrik pengolahan kelapa sawit berbasis koperasi serta menyadari manfaat ekonomis dan sosial yang dihasilkannya, implementasinya masih menghadapi berbagai kendala kebijakan dan kelembagaan yang signifikan.

EKOSISTEM PENGEMBANGAN KELEMBAGAAN PETANI KELAPA SAWIT MENUJU HILIRISASI



51

Pengembangan Sistem Realtime Deteksi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Metode Centernet Berbasis Android

Peneliti: Zaiful Bahri, S.Si., M.Kom, Joko Risanto, MM., M.Kom, Haji Gussyafri, MT

Hingga saat ini, proses identifikasi kematangan TBS di lapangan masih banyak dilakukan secara visual berdasarkan pengalaman tenaga panen sehingga berpotensi menimbulkan perbedaan penilaian, ketidakkonsistenan hasil, dan penurunan kualitas panen.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem realtime deteksi tingkat kematangan TBS kelapa sawit di pohon menggunakan metode CenterNet berbasis perangkat Android. Sistem dirancang agar mampu membantu petani, pemanen, koperasi, dan perusahaan perkebunan dalam melakukan identifikasi tingkat kematangan TBS secara lebih cepat, objektif, akurat, ringan dan konsisten tanpa memerlukan koneksi internet.

Penelitian diawali dengan pengumpulan dataset citra TBS kelapa sawit di lokasi perkebunan. Setelah melalui proses pembersihan data dan augmentasi diperoleh dataset 15.224 (data latih = 12.179 dan data validasi = 3.045), dataset digunakan untuk melatih model deep learning menggunakan metode CenterNet. Model dilatih dan dikonversi ke format **tflite*, diimplementasikan pada aplikasi Android menggunakan pendekatan on-device inference sehingga seluruh proses deteksi dapat dilakukan langsung pada smartphone secara offline.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek TBS matang dan mentah secara realtime dengan performa yang baik berdasarkan parameter evaluasi $mAP@0.50 = 0.95$, $precision = 0.95$, $recall = 0.94$, $F1-score = 0.94$, $accuracy = 0.92$ dan $model\ size = 5.90M$. Aplikasi Android yang dikembangkan mampu menampilkan bounding box, label kematangan, confidence score, jumlah objek yang terdeteksi, serta mendukung penyimpanan hasil deteksi.

Pengujian lapangan menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan pada berbagai kondisi lingkungan perkebunan dan mampu mendeteksi objek TBS secara realtime menggunakan kamera smartphone dengan jarak 20m. Implementasi TensorFlow Lite memungkinkan sistem berjalan secara cepat, akurat dan ringan dan efisien pada perangkat Android tanpa ketergantungan terhadap server maupun jaringan internet.

Luaran berupa model deep learning CenterNet, aplikasi Android realtime deteksi TBS offline bisa 20 m, publikasi ilmiah Sinta 2 terindeks Scopus Q3, empat buah haki, satu buah prototipe, satu buah paten sederhana serta fondasi teknologi yang dapat dikembangkan lebih lanjut menuju sistem pendukung keputusan panen presisi kelapa sawit. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung transformasi digital sektor perkebunan kelapa sawit Indonesia menuju sistem produksi yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan.

Pengembangan penelitian lanjutan untuk deteksi TBS di Pohon dalam bentuk Sistem Enterprise menggunakan konversi warna TBS dari RGB->HSV->CIE Lab untuk mendapatkan nilai Ripeness Index (RI) 5 kelas (Sangat Mentah, Mentah, Matang, Sangat Matang dan Tankos), prediksi cuaca berdasarkan API BMKG, prediksi harga menggunakan hybrid ARIMA dan LSTM untuk Decision Support System berbasis Edge AI-Android dan Computer Vision.

PENGEMBANGAN SISTEM REALTIME DETEKSI TINGKAT KEMATANGAN TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE CENTERNET BERBASIS MOBILE ANDROID

NO. KONTRAK: PRJ-94/DPKS/2023

F Gambar Capaian Hasil

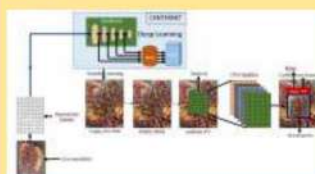
1. Pengumpulan Data



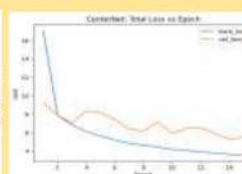
2. Labeling



3. Model



4. Hasil Latih Model



5. Hasil Uji Deteksi

a. Deteksi Android



b. Hasil Akurasi

Accuracy = $\frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$				Actual Values	
				Positive	Negative
Predictive Values	Positive	Mentah(0)	Matang(1)	7.820	640
	Negative	Matang(1)		710	6.950
Accuracy = $\frac{7.820 + 6.950}{7.820 + 640 + 6.950 + 710} = 0.92(92\%)$					

A Latar Belakang

1. Penentuan kematangan TBS sawit manual
2. Subjektivitas dan inkonsistensi penilaian
3. Ketidaktepatan waktu panen TBS sawit
4. Penurunan rendemen minyak sawit
5. Kebutuhan deteksi otomatis TBS
6. Kompleksitas citra TBS sawit di lapangan
7. Keterbatasan teknologi di lapangan
8. Perlunya model cepat, ringan dan akurat
9. Implementasi AI pada Android
10. Dukungan keputusan panen berbasis data

B Rumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan kematangan TBS
2. Bagaimana TBS terdeteksi otomatis
3. Bagaimana meningkatkan akurasi deteksi
4. Bagaimana memisahkan kelas matang-mentah
5. Bagaimana membangun sistem real-time
6. Bagaimana implementasi pada Android

C Tujuan

1. Mengembangkan deteksi kematangan TBS
2. Mengklasifikasikan TBS matang-mentah
3. Meningkatkan akurasi deteksi visual
4. Membangun sistem deteksi real-time
5. Mengimplementasikan CenterNet berbasis Android
6. Mendukung panen sawit tepat waktu

D Metode

1. Akuisisi citra TBS lapangan
2. Anotasi bounding box VOC 3.806
3. Pra-proses & augmentasi data 15.224
4. Data train 12.180, validasi 1.522 & Tes 1.522
5. Pelatihan model CenterNet
6. Evaluasi kinerja deteksi objek
7. Konversi model TensorFlow Lite
8. Implementasi Android real-time

E Capaian Hasil

1. Empat buah haki & Satu Prototipe
2. Desain Input Output Aplikasi
3. Paten Sederhana
4. Jurnal Internasional Bereputasi Q3 & Sinta 2
5. Deteksi TBS Sawit Realtime <= 20 meter
6. Aplikasi Baru Deteksi TBS Sawit di Pohon
7. Dokumen-Dokumen Uji Aplikasi

Kelompok Peneliti:

1. Zaiful Bahri, S.Si., M.Kom (Ketua)
HP : 08127608874
email : zaiful.bahri@lecturer.unri.ac.id
2. Joko Risanto, MM.M.Kom
3. Haji Gussyafri, MT

52

Revitalisasi Agribisnis Sawit: Menghadapi Tantangan Global Dengan Sistem Manajemen Korporasi Petani Digital Yang Berkelanjutan

Peneliti: Suandi, Fuad Nurdiansyah, Endy Effran, Afrizal Nehemia Toscani

Industri kelapa sawit Indonesia menghadapi tantangan sistemik yang kompleks, terutama bagi petani skala kecil yang menjadi tulang punggung sektor ini. Kerentanan ekonomi akibat tingginya biaya input budidaya seperti benih, pupuk, pestisida, dan alat pertanian telah menekan margin keuntungan petani secara signifikan. Di sisi lain, keterbatasan akses terhadap sumber daya produktif, disparitas pengetahuan teknis budidaya, dan rantai pasok yang panjang serta tidak efisien menyebabkan petani kerap terpaksa menjual hasil produksi dengan harga yang tidak menguntungkan. Kondisi-kondisi tersebut secara kolektif menciptakan siklus kemiskinan struktural yang memerlukan intervensi inovatif dan terstruktur. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan kerangka kerja terintegrasi melalui dua pendekatan utama, yaitu korporatisasi petani dan transformasi digital. Tiga tujuan strategis dirumuskan: pertama, memfasilitasi pembentukan korporasi petani tingkat kelompok tani yang memiliki legitimasi hukum formal sehingga memiliki posisi tawar yang lebih kuat; kedua, mengembangkan sistem manajemen sumber daya digital yang profesional dan berkelanjutan untuk mendukung operasional korporasi secara efisien; dan ketiga, memfasilitasi akses kerjasama multi-stakeholder yang efektif antara kelompok tani, perusahaan mitra, dan instansi pemerintah melalui platform digital terintegrasi. Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap selama dua tahun.

Tahap I menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif untuk mengkaji kondisi manajemen digital, karakteristik kelembagaan, dan kinerja korporasi petani sawit secara komprehensif. Hasilnya menunjukkan bahwa korporasi petani mampu mendorong adopsi teknik budidaya yang lebih efisien melalui berbagi sumber daya dan pengetahuan kolektif. Namun, tingkat pemanfaatan manajemen digital di lapangan masih rendah dan memerlukan perhatian serius. Meski demikian, karakteristik korporasi yang mencakup struktur organisasi, kepemimpinan, dan dinamika internal menunjukkan hasil yang lebih positif, menandakan adanya fondasi kelembagaan yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut. Tahap II berfokus pada validasi dan implementasi skala yang lebih luas melalui pengembangan platform DigiSawit, sebuah platform digital yang mengintegrasikan teknologi Laravel, Flutter, dan Kecerdasan Buatan (AI).

Platform ini dirancang dengan arsitektur fisik yang menggabungkan perangkat IoT, aplikasi mobile Android, dan penyimpanan data berbasis cloud untuk pemantauan kondisi kebun secara real-time. DigiSawit mengintegrasikan data penting budidaya, memberikan rekomendasi praktik ramah lingkungan, dan memfasilitasi akses pasar global. Hasil tahap ini membuktikan bahwa sistem manajemen berbasis digital mampu meningkatkan pendapatan petani hingga 35–40%. Penguatan kelembagaan korporasi petani mencapai tingkat kinerja "Sangat Baik" dengan skor 95,71% pada aspek sosial. Luaran konkret yang berhasil dicapai meliputi finalisasi prototipe platform DigiSawit yang telah dirilis di Google Play Store, penyusunan Dokumen Rencana Bisnis korporasi, penandatanganan perjanjian kemitraan formal yang komprehensif (MOU, MOA, PKS, dan IA) dengan berbagai pemangku kepentingan, perolehan Surat Pencatatan Ciptaan (HAKI) untuk laporan penelitian, pendaftaran merek dagang DigiSawit yang menjamin perlindungan identitas platform secara hukum dan membuka peluang komersialisasi dan lisensi teknologi kepada pihak ketiga, serta manuskrip ilmiah yang telah accepted untuk dipublikasikan pada jurnal internasional terakreditasi.

Secara keseluruhan, Model Korporasi Petani Digital Berkelanjutan yang dihasilkan dari penelitian ini terbukti mampu mengatasi fragmentasi produksi, meningkatkan transparansi rantai pasok, dan memperkuat posisi tawar petani kecil melalui mekanisme konsolidasi dan negosiasi kolektif. Model ini selaras dengan arah kebijakan nasional, termasuk Permentan No. 5 Tahun 2025, Visi dan Misi 8 Asta Cita Pemerintah Prabowo dalam mewujudkan Indonesia Emas 2045 sehingga berpotensi besar untuk direplikasi secara nasional sebagai referensi strategis bagi pengembangan agribisnis kelapa sawit yang mampu berdaya saing dan berkelanjutan secara global.



Revitalisasi Agribisnis Sawit: Menghadapi Tantangan Global dengan Sistem Manajemen Korporasi Petani Digital yang Berkelanjutan

KONTRAK

PRJ-95/DPKS/2023 dan
No: 48/UN21.11/HK.07.00/2023



Latar Belakang

- ✓ Kesulitan Petani: tingginya biaya input, kurangnya pengetahuan teknik budidaya, dan akses pemasaran yang terbatas
- ✓ Dukungan Korporasi Petani: melalui pembentukan organisasi dan kerjasama, diharapkan dapat memperkuat posisi petani dalam industri dan pasar
- ✓ Manajemen Digital: Pentingnya manajemen digital dalam perkebunan kelapa sawit untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi.

Tujuan Penelitian

- ✓ Memfasilitasi pembentukan korporasi petani tingkat kelompok tani yang memiliki legitimasi hukum melalui perolehan izin usaha formal
- ✓ Mengembangkan sistem manajemen sumber daya digital berkelanjutan yang profesional untuk korporasi petani.
- ✓ Memfasilitasi akses kerjasama multi-stakeholder yang melibatkan kelompok tani, perusahaan, dan instansi pemerintahan melalui platform digital terintegrasi.

Metodologi

- Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei. Variabel independennya adalah manajemen digital, diukur melalui penggunaan TIK dan penerapan SIM. Objek penelitian mencakup manajemen digital, karakteristik korporasi, dan kinerja korporasi. Sampel ditentukan dengan purposive sampling, melibatkan 12 desa dan 1.200 petani.
- Data dianalisis secara deskriptif dan uji statistik dengan menggunakan model Structural Equation Modeling (SEM) melalui Partial Least Square (PLS)
- Merancang Sistem Manajemen Korporasi Petani Sawit



Hasil dan Pembahasan

Platform Digital



Platform Digital Berbasis Mobile



Hasil Analisis

No	Nama Petani	Kategori Sosial				Kategori Ekonomi				Kategori Lingkungan			
		Sangat Baik	Baik	Cukup	Buruk	Sangat Baik	Baik	Cukup	Buruk	Sangat Baik	Baik	Cukup	Buruk
1	12345	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	67890	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
3	11111	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4	22222	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	33333	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	44444	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
7	55555	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
8	66666	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
9	77777	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
10	88888	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
11	99999	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
12	00000	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Kinerja sosial korporasi petani menunjukkan hasil terbaik, dengan 95,71% responden pada kategori "Sangat Baik". Ini mencerminkan penguatan kesejahteraan dan hubungan kelembagaan, sejalan dengan temuan RSPO (2024) dan Palm Oil Barometer (2024) bahwa pelatihan dan akses layanan meningkatkan indikator sosial petani.

Kerja Sama dan Kebijakan Pemerintah



Launching Aplikasi



Kegiatan launching aplikasi Digisawit dihadiri oleh berbagai stakeholder penting, mulai dari unsur pemerintah, perguruan tinggi, lembaga swasta, hingga perwakilan petani sawit.

Ketua Peneliti : **Prof. Dr. Ir. Suandi, M.Si, IPU**
suandi_pertanian@unja.ac.id

Anggota • **Fuad Nurdiansyah, SP, M.PlaHBio., Ph.D**

• **Dr. Ir. Endy Effran, S.P, M.Si**

• **Afrizal Nehemia Toscani, S.Kom, M.Si**

53

Pemetaan Mutu CPO Di Sumatera Bagian Utara

Peneliti: Donald Siahaan, Ilmi Fadhilah Rizki, Manda Edy Mulyono, Brahmani Dewa Bajra, Frisda Rimbun Panjaiyan, Mulki Salendra Kusumah

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan karakteristik mutu Crude Palm Oil (CPO) di dua provinsi sentra hulu utama Indonesia, yaitu Sumatera Utara dan Riau, sekaligus mengidentifikasi determinan kritis degradasi kualitas di sepanjang rantai pasok dari perkebunan hingga pabrik rafinasi (refinery). Menggunakan metode survei stratifikasi dan analisis profil mutu (quality profiling) pada 48 Pabrik Kelapa Sawit (PKS), ditemukan disparitas mutu regional yang sangat signifikan. Sumatera Utara didominasi oleh produksi CPO Premium (54,8%) dengan rata-rata kadar Asam Lemak Bebas (ALB) 2,90%, kadar air dan kotoran 0,24%, serta nilai Deterioration of Bleachability Index (DOBI) mencapai 2,70, sehingga sangat ideal sebagai bahan baku industri oleopangan dan oleokimia dasar. Sebaliknya, wilayah Riau didominasi oleh CPO Reguler (75,0%) dengan rata-rata ALB 3,14% dan kadar air-kotoran 0,34%. Tingginya proporsi CPO reguler di Riau dipicu oleh dominasi pasokan Tandan Buah Segar (TBS) dari perkebunan rakyat swadaya di lahan basah/gambut yang rentan mengalami hidrolisis hulu yang intensif. Hal ini terkonfirmasi secara kimiawi melalui tingginya kadar diasilgliserol (DAG) pada CPO Riau yang mencapai 13,78% dibandingkan Sumatera Utara yang hanya sebesar 6,09%. Di sisi lain, evaluasi tren pengolahan menunjukkan bahwa PKS bersertifikat RSPO memiliki kontrol stabilitas mutu terbaik (DOBI >2,78), sementara PKS komersial tanpa kebun memiliki kerentanan hidrolisis tertinggi di tahap akhir proses. Kenaikan ALB yang signifikan (mencapai 3,65%) dan penurunan tajam nilai DOBI menjadi <2,35 di dalam storage tank PKS komersial diakibatkan oleh manajemen penyimpanan yang lama serta praktik pencampuran (blending) minyak residu dari stasiun kutipan (sludge pit).

Lebih lanjut, evaluasi pada jalur logistik transportasi (truk, gerbong kereta, dan pipa) menuju refinery mengonfirmasi terjadinya degradasi oksidatif massal; CPO dengan nilai DOBI awal >2,5 di tangki timbun PKS mengalami penurunan drastis menjadi 2,2–2,35 saat tiba di pabrik rafinasi akibat masa tunggu (demurrage) dan paparan panas-udara selama pengangkutan. Penelitian ini juga berhasil mengidentifikasi ancaman struktural baru berupa 175 unit "PKS Brondolan" informal (114 di Riau, 61 di Sumut) yang menampung buah sisa sortasi out-of-spec tanpa pengawasan mutu negara, yang menjadi penyebab rendahnya persentase brondolan (<5%) pada PKS konvensional. Sebagai rekomendasi kebijakan, regulator perlu mendorong implementasi grading komersial berbasis SNI 2901:2021 melalui insentif harga, melakukan kanalisasi pasar (mengarahkan CPO Premium untuk pangan/ekspor dan CPO Reguler untuk bioenergi), serta menyusun regulasi formal untuk menstandarisasi output PKS Brondolan guna melindungi reputasi industri kelapa sawit nasional. Melalui penerapan diferensiasi produk berdasarkan parameter mutu yang fungsional ini, industri kelapa sawit diharapkan dapat berjalan lebih efisien dengan mengoptimalkan prinsip bahan baku yang tepat untuk produk spesifik (right material for specific product). Langkah strategis ini pada jangka panjang tidak hanya menekan potensi kerugian ekonomi pekebun hulu, melainkan juga meminimalkan biaya pengolahan (bleaching cost) di sektor hilir pabrik rafinasi.



PEMETAAN MUTU CPO DI SUMATERA BAGIAN UTARA

No Kontrak : PRJ-96/DPKS/2023

Tim Peneliti :

Dr. Donald Siahaan (Ketua), Dr. Frisda Rimbun Panjaitan, Brahmani Dewa Bajra, S.T., Manda Edy Mulyono, B.Sc., Ilmi Fadhilah Rizki, M.Si.

TUJUAN PENELITIAN

- Memotret keadaan mutu CPO yang diproduksi di wilayah Sumut dan Riau dalam parameter yang dikembangkan sesuai kebutuhan industri hilirnya
- Mengkaji faktor penyebab penurunan mutu CPO yang diproduksi di Sumatera Utara dan Riau, pada rantai pasok hulu, PKS dan handling angkut dan simpan CPO
- Mengidentifikasi kebutuhan spesifikasi mutu bahan baku CPO atau turunannya untuk kebutuhan kelompok industri hilir (oleopangan, oleokimia, oleoenergi)

METODOLOGI PENELITIAN

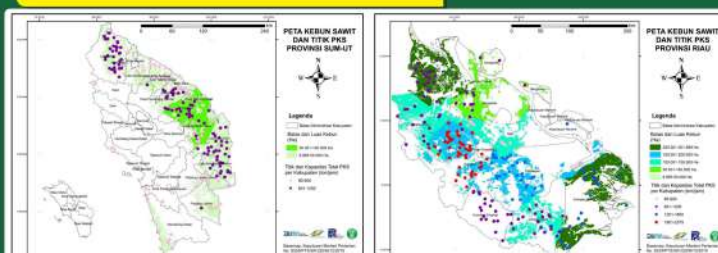
Identifikasi Kebutuhan Industri Hilir

Survei Mutu pada Segmen Produksi TBS

Survei Mutu pada Segmen Post-Processing & Distribusi

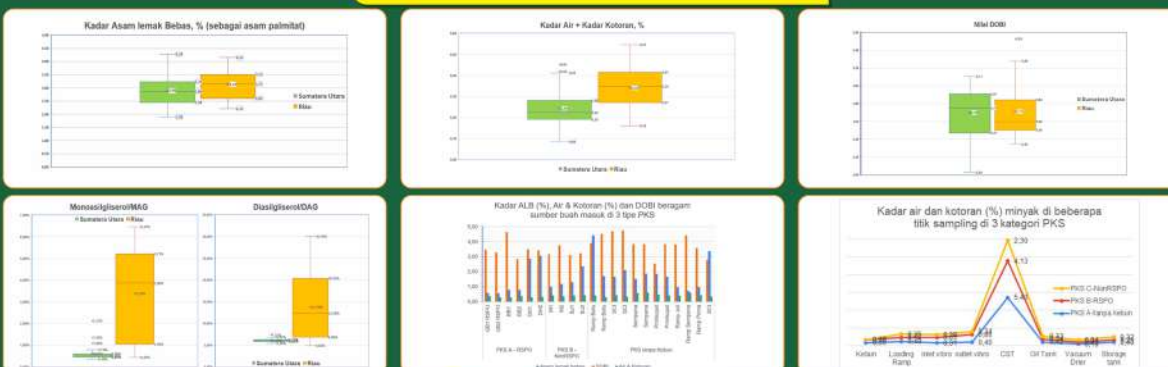
Survei Mutu pada Segmen Pengolahan di PKS

POTRET INDUSTRI HULU & HILIR

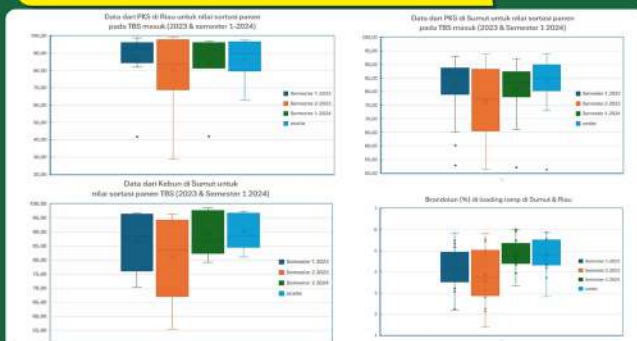


- Peta menunjukkan konsentrasi PKS & Kebun di kabupaten utama Sumut (Langkat, Labuhan Batu) & Riau (Kampar, Rokan Hulu), serta klusterisasi industri hilir di dekat pelabuhan (Belawan, Dumai-Duri, Sei Mangkei).
- Grafik CPO mengonfirmasi Sumut unggul dalam kategori Premium SNI dibanding Riau, dengan Kadar Air & Kotoran sebagai pembeda nyata.
- Box plot secara visual menyoroti temuan krusial: kadar DAG & MAG CPO Riau jauh lebih tinggi daripada Sumut, mengindikasikan hidrolisis yang lebih besar.
- Sebaliknya, grafik untuk ALB, DOBI, dan parameter oksidasi menunjukkan kemiripan nilai antara kedua provinsi, menandakan tingkat degradasi oksidatif yang serupa & terkendali.
- Grafik NSP menunjukkan TBS masuk PKS berkualitas baik, namun grafik brondolan yang rendah secara visual mendukung hipotesis adanya penjualan TBS outspec ke PKS mini.

MUTU CPO PRODUKSI PKS



KUALITAS TBS (NSP & BRONDOLAN)



KESIMPULAN

- Sumut & Riau terkonfirmasi sebagai kontributor utama industri sawit RI (areal, CPO, PKS), dengan industri hilir terpusat di Belawan, Sei Mangkei, & Dumai-Duri.
- CPO Sumut umumnya berkualitas Premium, sementara Riau mayoritas Reguler, terutama karena beda kadar air & kotoran.
- Kadar Disilgliserol (DAG) Riau jauh lebih tinggi dibanding Sumut, mengindikasikan tingkat hidrolisis yang lebih besar.
- Nilai DOBI dan tingkat oksidasi (PV, AV) CPO kedua provinsi relatif setara dan dalam batas wajar.
- Meskipun NSP TBS tampak baik, rendahnya brondolan mengindikasikan potensi penjualan TBS outspec ke PKS mini.
- Setiap tahapan di PKS terbukti berkontribusi pada kenaikan ALB dan penurunan DOBI.

54

Evaluasi Dampak Kehadiran Pabrik Kelapa Sawit Brondolan terhadap Rantai Pasok Industri Kelapa Sawit Berkelanjutan

Peneliti: Ratnawati Nurkhoiry, S.P., M.Sc., Dr. Donald Siahaan, Rizki Amalia, S.E., M.Si., Zulfi Prima Sani Nasution, S.P., M.Si., Asma Nabila, S.E., M.Si., Agung Rahmat Syahputra, B.A., M.Si., dan Mulki Salendra Kusumah, S.T.

Meningkatnya permintaan pasar global terhadap minyak sawit berkadar asam lemak bebas (ALB) tinggi, terutama untuk kebutuhan energi terbarukan, telah memicu munculnya Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Brondolan sebagai entitas baru dalam rantai pasok industri sawit nasional. Dengan investasi yang lebih murah dan perizinan yang lebih mudah, PKS ini tumbuh pesat di sentra produksi sawit, khususnya Riau dan Sumatera Utara. Eksistensinya menghadirkan dampak yang berseberangan, di satu sisi memperluas akses pasar bagi pekebun rakyat, namun di sisi lain disinyalir memicu persaingan bahan baku yang tidak sehat, penurunan rendemen CPO pada PKS konvensional, maraknya pencurian brondolan, retaknya kemitraan inti-plasma, serta kompleksitas sistem ketertelusuran dalam sertifikasi keberlanjutan. Ketiadaan kajian ilmiah yang komprehensif mengenai fenomena ini menjadi dasar urgensi penelitian. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan memetakan sebaran PKS Brondolan, menggambarkan perubahan struktur rantai pasok, mengidentifikasi isu strategis, serta mengevaluasi dampaknya secara kuantitatif yang didukung pengujian mutu minyak di laboratorium.

Hasil pemetaan menunjukkan PKS Brondolan tersebar di puluhan provinsi penghasil sawit, namun jumlahnya menyusut tajam setelah pemerintah memperketat regulasi ekspor produk turunan kelapa sawit. Keberadaannya telah membentuk rantai pasok yang jauh lebih panjang dan kompleks, melibatkan pengumpul, agen (ramp), dan pemasok yang menjangkau pasar lintas provinsi melalui media sosial, sehingga meningkatkan risiko ketidakpastian asal bahan baku. Dari sisi mutu, minyak yang dihasilkan mengandung ALB jauh melampaui ambang batas SNI CPO serta nilai DOBI yang sangat rendah. Hasil pengujian ini menegaskan bahwa produk ini secara ilmiah tidak dapat dikategorikan sebagai CPO konvensional untuk kebutuhan pangan, melainkan lebih sesuai sebagai bahan baku bioenergi, sabun, dan produk oelokimia lainnya. Temuan ini menjadi dasar penting bagi rekomendasi penamaan ulang dan klasifikasi produk yang lebih spesifik.

Isu strategis yang menjadi sorotan dari kehadiran PKS Brondolan muncul utamanya disebabkan oleh lemahnya koordinasi antarlembaga pemerintah dan adanya permintaan pasar yang diwakili oleh variabel kesenjangan kapasitas dan utilitas pabrik brondolan. Berbagai stakeholder juga memiliki persepsi yang berbeda terhadap isu strategis ini yang menggambarkan bahwa permasalahan PKS Brondolan bersifat struktural dan menyangkut tata kelola kelembagaan secara keseluruhan, bukan sekadar persoalan penegakan aturan secara administratif. Kehadiran PKS Brondolan belum dapat dibuktikan secara statistik sebagai penyebab langsung menurunnya proporsi brondolan yang diolah oleh PKS konvensional, terlebih lagi untuk membuktikan bahwa adanya kejadian masif terkait pencurian brondolan. Temuan ini mengindikasikan bahwa perubahan yang terjadi di lapangan lebih mungkin dipengaruhi oleh berbagai faktor struktural dan perubahan kondisi dari waktu ke waktu, bukan semata-mata akibat kehadiran PKS Brondolan.

Penelitian merekomendasikan penguatan tata kelola lintas sektor, harmonisasi regulasi, penguatan skema kemitraan inti-plasma, penyusunan standar dan klasifikasi produk yang membedakan CPO konvensional dengan minyak hasil pengolahan PKS Brondolan, serta pengembangan sistem sertifikasi dan ketertelusuran rantai pasok guna menjaga daya saing dan keberlanjutan industri kelapa sawit Indonesia.



NO KONTRAK: PRJ-180/DPKS 2024 dan Addendum Nomor: PRJ-161/BPDP/2025

EVALUASI DAMPAK KEHADIRAN PABRIK KELAPA SAWIT BRONDOLAN TERHADAP RANTAI PASOK INDUSTRI KELAPA SAWIT BERKELANJUTAN

Ratnawati Nurkhoiry, S.P., M.Sc., Dr. Donald Siahaan, Rizki Amalia, S.E., M.Si., Zulfi Prima Sani Nasution, S.P., M.Si., Asma Nabila, S.E., M.Si., Agung Rahmat Syahputra, B.A., M.Si., Mulki Salendra Kusumah, S.T.

Email: rn.nurkhoiry@gmail.com

LATAR BELAKANG

Permintaan pasar global terhadap minyak sawit non-pangan berkadar asam lemak bebas tinggi mendorong munculnya Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Brondolan, terutama digunakan sebagai bahan baku energi terbarukan. Kehadirannya membuka alternatif pasar bagi pekebun rakyat, namun memicu permasalahan lain terkait dengan penurunan rendemen, disparitas harga, pencurian brondolan, dan terganggunya kemitraan inti-plasma. Kajian ilmiah yang komprehensif belum pernah dilakukan di sentra produksi utama, Riau dan Sumatera Utara.

TUJUAN PENELITIAN

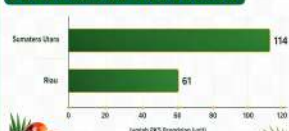
- Memetakan sebaran PKS Brondolan di Riau dan Sumatera Utara
- Menggambarkan perubahan struktur rantai pasok sebelum-sesudah kehadirannya
- Mengidentifikasi isu strategis melalui pendekatan multipihak
- Mengevaluasi dampak kausalnya terhadap rantai pasok industri kelapa sawit

HASIL DAN PEMBAHASAN

STRUKTUR RANTAI PASOK



SEBARAN PKS BRONDOLAN



Koordinasi lintas kementerian/lembaga dan kesenjangan kapasitas-utilitas pabrik adalah penggerak utama sistem; implementasi ISPO/RSPO, ketertelusuran rantai pasok, kepatuhan regulasi, dan mutu TBS/CPO berada pada posisi kritis. Persepsi antarpemangku kepentingan pun beragam, menegaskan perlunya tata kelola inklusif.

ISU STRATEGIS



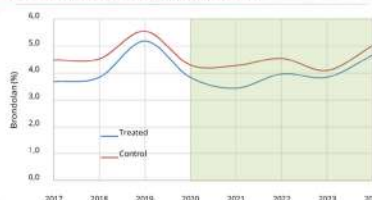
MUTU MINYAK

Minyak PKS Brondolan memiliki karakter yang mendekati High Acid Crude Palm Oil dengan ALB rata-rata 26,08% (standar CPO maks. 3% & 5%) dan DOBI rata-rata 1,28 (standar CPO min. 2,0 & 2,5)—tidak layak untuk pemanfaatan sektor pangan, namun bernilai sebagai bahan baku bioenergi, oleokimia, dan sabun.



ANALISIS DIFFERENCE IN DIFFERENCE

Variabel interaksi tidak signifikan secara statistik (koefisien 0,128; t-stat 0,739), yang menandakan bahwa perubahan persentase brondolan pada PKS konvensional di wilayah ber-PKS Brondolan tidak berbeda nyata dari wilayah kontrol.



METODOLOGI

WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tahun 2025 di Provinsi Sumatera Utara dan Riau



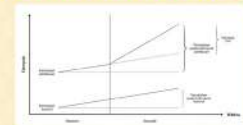
MATRIX OF CROSS IMPACT MULTIPLICATION APPLIED TO A CLASSIFICATION (MICMAC)

Analisis didahului dengan Focus Group Discussion yang melibatkan ±75 peserta dari kementerian, asosiasi, akademisi, dan komunitas pekebun, merumuskan 18 variabel strategis dalam lima dimensi: ekonomi, sosial, lingkungan, kelembagaan, dan teknis.



Hasil FGD diolah dengan matriks pengaruh-ketergantungan untuk memetakan variabel penggerak utama dan variabel kritis dalam sistem rantai pasok.

DIFFERENCE IN DIFFERENCE (DID)



Dampak kausal diuji lewat regresi Difference-in-Differences yang membandingkan wilayah dekat dan jauh pemukiman sebelum-sesudah munculnya PKS Brondolan (baseline 2020-2023).

REKOMENDASI

- Harmonisasi regulasi lintas sektor terkait industri pengolahan minyak sawit non-pangan
- Penamaan & SNI yang membedakan minyak hasil pengolahan PKS Brondolan dan CPO konvensional
- Sistem ketertelusuran & sertifikasi untuk menjamin legalitas rantai pasok
- Penguatan skema kemitraan antara produsen TBS dan PKS non-food grade



TERIMA KASIH

BADAN PENGELOLA DANA PERKEBUNAN (BPDP)

Gedung Surachman Tjokrodisurjo

Jl. Medan Merdeka Timur No.16 RT 07 / RW 01,
Kec. Gambir, Jakarta Pusat. 10110.

bpbd.or.id | [@bpbd.id](https://www.instagram.com/bpbd.id)

