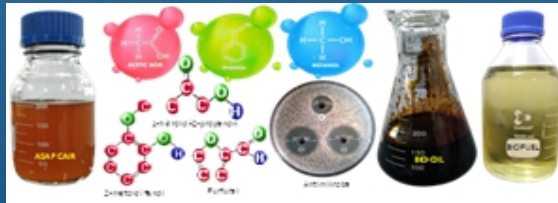


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

OPTIMALISASI TERMOKIMIA SEBAGAI SOLUSI STRATEGIS KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOFUEL DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK KIMIA
KEPAKARAN TEKNOLOGI BIOENERGI DAN KIMIA PROSES**



**OLEH:
DIENI MANSUR**

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK KIMIA
KEPAKARAN TEKNOLOGI BIOENERGI DAN KIMIA PROSES**

Diterbitkan pertama pada 2025 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ISSN 3090-8485

OPTIMALISASI TERMOKIMIA SEBAGAI SOLUSI STRATEGIS KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOFUEL DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU TEKNIK
BIDANG TEKNIK KIMIA
KEPAKARAN TEKNOLOGI BIOENERGI DAN KIMIA PROSES**

**OLEH:
DIENI MANSUR**

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Optimalisasi Termokimia Sebagai Solusi Strategis Konversi Biomassa Menjadi Biofuel Dan Bahan Kimia Berkelanjutan /Dieni Mansur–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

ix + 93 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|---------------------------|--------------|
| 1. Termokimia | 2. Pirolisis |
| 3. Hidrotermal likuifaksi | 4. Biomassa |

660.284

<i>Copy editor</i>	: S. Imam Setyawan
<i>Proofreader</i>	: Martinus Helmiawan
Penata Isi	: S. Imam Setyawan
Desainer Sampul	: S. Imam Setyawan



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PIROLISIS DAN HIDROTERMAL LIKUIFAKSI	11
A. Perkembangan Teknologi Pirolisis.....	11
B. Perkembangan Teknologi Hidrotermal Likuifaksi (HTL).....	16
III. OPTIMALISASI TEKNOLOGI PIROLISIS DAN HIDROTERMAL LIKUIFAKSI DALAM KONVERSI BIOMASSA.....	23
A. Konversi biomassa menjadi bahan kimia terbarukan	23
B. Konversi biomassa menjadi biofuel	38
C. Riset pengembangan biofuel berbasis minyak nabati	43
IV. PROSPEK PEMANFAATAN PRODUK PIROLISIS DAN HIDROTERMAL LIKUIFAKSI	45
V. KESIMPULAN	51
VI. PENUTUP	53
UCAPAN TERIMA KASIH	55
DAFTAR PUSTAKA.....	59
DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI	67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Teknologi termokimia dan produk yang dihasilkan	8
Gambar 1.2	Skema proses pemecahan rantai panjang biomassa menjadi rantai pendek.....	9
Gambar 2.1	Perkembangan ilmu dan teknologi pirolisis	13
Gambar 2.2	Perkembangan jenis reaktor pirolisis	16
Gambar 2.3	Diagram fase air, menunjukkan perubahan sifat kimia fisik karena pengaruh suhu dan tekanan	19
Gambar 2.4	Peran air sebagai media reaksi pada kondisi subkritis dalam mendegradasi biomassa menjadi senyawa baru	20
Gambar 2.5	Jenis reaktor yang digunakan untuk proses HTL.....	21
Gambar 3.1	Dua tahap proses (pirolisis dan katalitik reaksi) untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan dari biomassa....	24
Gambar 3.2	Jalur reaksi hidroksiaseton, asam karboksilat, dan ester menjadi keton menggunakan katalis ZrO_2 -FeOx	28
Gambar 3.3	Skema dekomposisi komponen cangkang kelapa sawit pada berbagai suhu pirolisis untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan	30
Gambar 3.4	Skematik alur proses HTL dari DDGS	32
Gambar 3.5	Yield senyawa kimia dalam liquid tar hasil variasi konsentrasi <i>co-solvent</i> etanol terhadap DDGS	34
Gambar 3.6	Proses HDO bio-oil terhadap variasi katalis.....	41
Gambar 3.7	Foto bio-oil yang berasal dari ko-pirolisis pelepah kelapa sawit dan polistiren (a) serta produk hasil distilasi (b)	42
Gambar 4.1	Uji aktivitas antioksidan dan antibakteri terhadap fraksi asap cair setelah distilasi.....	46
Gambar 4.2	Pengaruh fenol, guaiahol, dan 2-metoksi-5-metilfenol (2-EMP) dalam proses regenerasi jaringan untuk penyembuhan luka	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi operasi pirolisis lambat, intermediet, dan cepat	14
Tabel 2.2 Klasifikasi proses hidrotermal	17
Tabel 3.1 Proses pirolisis, katalitik reaksi, dan distilasi berbagai biomassa lignoselulosa dan produk yang dihasilkan	24
Tabel 3.2 Produksi bio-oil dari berbagai biomassa.....	39

BIODATA RINGKAS



Dr. Dieni Mansur, S.T., M.Eng., lahir di Bukittinggi, pada bulan April 1978 adalah anak ke 3 dari Bapak Mansur (alm) dan Ibu UtI. Menikah dengan Dr. Toto dan dikaruniai 1 orang anak, yaitu Davin.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 2/M Tahun 2023 tanggal 9 Januari 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai pelantikan tanggal 25 Januari 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 221/I/HK/2025 tanggal 11 November 2025 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 03 Koto Tangah tahun 1991, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Tilatang Kamang tahun 1994, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bukittinggi tahun 1997. Memperoleh gelar Ahli Madya dari Politeknik Negeri Bandung tahun 2000, Sarjana Teknik dari Universitas Diponegoro tahun 2003, gelar Magister of Engineering dari Hokkaido University tahun 2010, dan gelar Doktor bidang Chemical Science and Engineering dari Hokkaido University tahun 2013.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: Pengembangan katalis untuk proses perengkahan katalitik minyak nabati di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru,

Terbarukan, dan Konservasi Energi (P3tkebtke) - Kementerian ESDM (2016), 1st school of material analysis di LIPI (2016), Operation and maintenance training of micromeritics PID – Micro Activity Test (MAT) di P3tkebtke - Kementerian ESDM (2017), dan ASEAN-ROK Biofuel and IP Policy evaluation di Chiang Mai, Thailand (2018).

Mulai bekerja di Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia sejak tahun 2005 dan sejak tahun 2022 bergabung di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 2007, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 2013, Peneliti Ahli Muda golongan III/d tahun 2015, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2017, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2020, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Teknologi Bioenergi dan Kimia Proses tahun 2023.

Menghasilkan 67 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 50 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Selain itu telah dihasilkan 4 paten terkabulkan dan 20 paten terdaftar.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusat Penelitian Kimia-LIPI dan pembimbing skripsi (S-1) pada UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Universitas Negeri Jakarta, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Universitas Pertamina, Universitas Jambi, pembimbing lapangan thesis (S-2) pada Universitas

Airlangga, serta penguji proposal dokter spesialis pada Universitas Airlangga.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo) (2019–2021) dan anggota Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) (2022–sekarang.

Menerima tanda penghargaan L’Oreal-UNESCO For Women in Science (tahun 2012), Toray Science and Technology Research Grant (tahun 2018), Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2015), dan Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2025) dari Presiden RI.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita bersyukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal 10 Desember 2025 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“OPTIMALISASI TERMOKIMIA SEBAGAI SOLUSI STRATEGIS KONVERSI BIOMASSA MENJADI BIOFUEL DAN BAHAN KIMIA BERKELANJUTAN”

Pada orasi ini, akan disampaikan tentang perkembangan terkini, peluang, dan tantangan dalam optimalisasi teknologi termokimia untuk mengkonversi biomassa menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel yang berkelanjutan. Penemuan-penemuan terbaru di bidang ini diharapkan dapat memperdalam

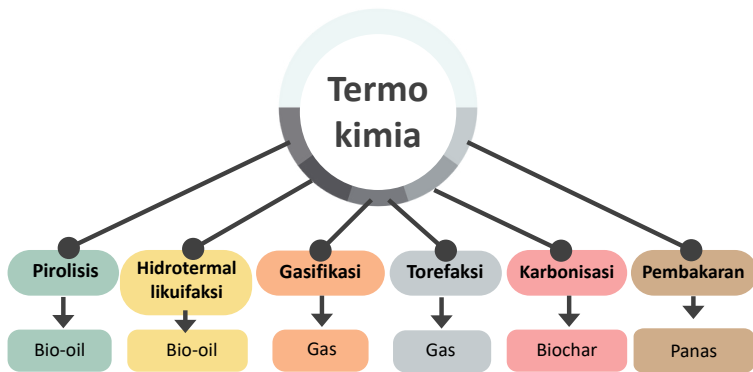
pemahaman mengenai potensi biomassa sebagai sumber bahan kimia dan biofuel yang aplikatif di sektor industri kimia, pangan, kesehatan, dan transportasi.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang konsep biorefineri berbasis teknologi termokimia, khususnya pirolisis dan hidrotermal likuifaksi, dalam mengolah biomassa secara berkelanjutan menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel.

I. PENDAHULUAN

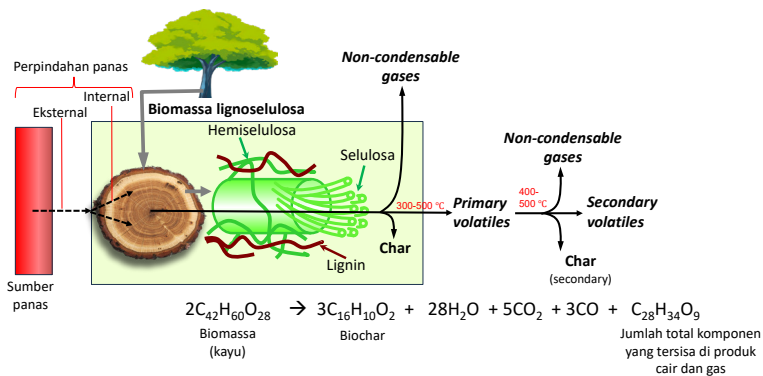
Menipisnya cadangan minyak bumi dan dampak gas rumah kaca terhadap pemanasan global mendorong kita untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sebagai sumber daya karbon tak terbarukan, serta secara bertahap beralih ke sumber daya terbarukan (Mansur, Shimokawa, et al., 2013). Biomassa sebagai salah satu sumber daya terbarukan dapat dikonversi menjadi senyawa kimia dan biofuel melalui teknologi termokimia (Jha et al., 2022).

Termokimia adalah proses konversi biomassa yang melibatkan pemanasan pada kondisi terkontrol (seperti suhu, tekanan, dan waktu proses) untuk menghasilkan panas, serta bahan kimia dalam bentuk gas, padat, dan cair (Elgarahy et al., 2021; Tanger et al., 2013). Biomass traits influencing the effectiveness of the thermochemical process (cell wall composition, mineral and moisture content). Teknologi termokimia mencakup pirolisis, hidrotermal likuifaksi (HTL), gasifikasi, torefaksi, karbonisasi, dan pembakaran (Jha et al., 2022; Rahimi et al., 2022) yang menghasilkan produk bio-oil, gas, biochar, dan panas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Teknologi termokimia dan produk yang dihasilkan

Mencermati Gambar 1.1, diantara teknologi termokimia, pirolisis dan hidrotermal likuifaksi adalah teknologi yang dapat mengkonversi biomassa menjadi bio-oil. Bio-oil yang dihasilkan sebagian terpisah menjadi asap cair atau liquid tar. Bio-oil mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai biofuel. Sementara asap cair atau liquid tar dijadikan sebagai sumber bahan kimia terbarukan. Dalam orasi ini, optimalisasi proses pirolisis dan hidrotermal likuifaksi meliputi penggunaan berbagai biomassa pada variasi suhu, tekanan, waktu proses, perbandingan biomassa, dan penggunaan katalis untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan dan biofuel dengan yield yang tinggi. Biomasa berpotensi menghasilkan senyawa kimia terbarukan dan biofuel karena adanya kandungan karbon dan hidrogen pada rantai selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proses pemecahan rantai panjang biomassa menjadi rantai pendek dapat digambarkan secara skematik pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Skema proses pemecahan rantai panjang biomassa menjadi rantai pendek

Teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi (HTL) memiliki potensi besar untuk mengubah biomassa menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel. Namun, permasalahan yang menghambat penerapan secara luas dan efisien adalah variasi kualitas produk, penurunan kinerja katalis selama proses, serta kebutuhan perlakuan awal bahan baku. Bervariasinya kualitas produk yang dihasilkan sering kali bergantung pada jenis biomassa yang digunakan serta kondisi proses (seperti suhu, tekanan, dan waktu proses), sehingga menyulitkan standarisasi produk untuk aplikasi industri. Oleh karena itu, melalui naskah orasi ilmiah ini, akan membahas topik “Optimalisasi Termokimia sebagai Solusi Strategis Konversi Biomassa Menjadi Biofuel dan Bahan Kimia Berkelanjutan” yang berisi hasil-hasil riset termokimia, yang memanfaatkan beberapa biomassa untuk menentukan pengaruh kondisi proses terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Nilai keberlanjutan dari inovasi ini merupakan terobosan untuk memperpendek proses pembentukan senyawa kimia dan bahan bakar dari siklus jutaan tahun (untuk pembentukan batubara,

minyak bumi dan gas alam) menjadi 2-4 jam dalam reaktor. Penggunaan biomassa yang melimpah di Indonesia namun masih banyak yang belum diolah juga menjadikan penelitian ini sebagai upaya yang berkelanjutan.

Naskah orasi ini disusun berdasarkan alur sebagai berikut. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang penelitian tentang teknologi termokimia. Bab II Perkembangan teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi. Bab III Optimalisasi teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi dalam mengkonversi biomassa menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel. Bab IV Prospek pemanfaatan produk pirolisis dan hidrotermal likuifaksi.

Rangkaian penelitian ini menunjukkan kontribusi dalam optimalisasi teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi biomassa untuk menghasilkan bahan kimia terbarukan dan biofuel yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Untuk itu, optimalisasi termokimia sebagai solusi strategis konversi biomassa menjadi biofuel dan bahan kimia berkelanjutan perlu disampaikan lebih menyeluruh dalam naskah orasi ini.

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PIROLISIS DAN HIDROTERMAL LIKUIFAKSI

Perkembangan teknologi proses termokimia seperti pirolisis dan hidrotermal likuifaksi (HTL) dapat dijabarkan sebagai berikut.

A. Perkembangan Teknologi Pirolisis

Sejak awal peradaban manusia, sekitar 35.000 – 26.000 SM, teknologi termokimia dimulai dengan proses karbonisasi untuk memproduksi arang dari kayu. Arang merupakan bahan sintesis pertama yang diproduksi oleh manusia. Pada masa peradaban Mesir kuno (sekitar 3100 SM), produk samping dari pembuatan arang (biochar) berupa cairan yang dikenal sebagai asam piroligneus sudah dimanfaatkan sebagai pembalsem mayat (Garcia-Nunez et al., 2017).

Kemajuan teknologi termokimia terus berkembang seiring dengan perjalanan waktu. Pada tahun 1556, Glauber Agricola mendeskripsikan penggunaan biochar dalam bidang metalurgi. Kemudian, pada tahun 1653, Glauber mengkonfirmasi keberadaan asam asetat dalam asam piroligneus. Di tahun 1661, Robert Boyle menjelaskan proses penyulingan kayu (*wood distillation*) untuk menghasilkan biochar, cairan tar kayu, dan asam piroligneus. Selanjutnya, pada tahun 1812 (abad ke-19), Taylor membuktikan keberadaan metanol dalam cairan tar kayu, sehingga pada tahun 1835, metanol berhasil diisolasi. Pada tahun 1850-an industri penyulingan kayu mengalami kemajuan pesat, yang memungkinkan pemanfaatan produk seperti asam asetat, metanol, aseton, asam piroligneus, tar kayu, dan biochar berkembang dengan baik. Selain itu, gas yang sebelumnya sering

terbuang di lubang tanah mulai dimanfaatkan untuk pembakaran batu bata. Sejarah perkembangan industri karbonisasi atau industri penyulingan kayu ini sering dianggap sebagai cikal bakal industri petrokimia modern. Namun, pada awal abad ke-19 hingga abad ke-20 kemunculan industri perminyakan dengan produk yang lebih murah menyebabkan kemunduran industri karbonisasi. Industri karbonisasi hanya bertahan untuk produksi biochar yang digunakan dalam bidang metalurgi dan memasak pada periode 1920-1960. Saat ini, istilah pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) muncul sebagai representasi dari karbonisasi (Garcia-Nunez et al., 2017). Istilah pirolisis (*pyrolysis*) sendiri berasal dari bahasa Yunani di mana *pyro* berarti api, dan *lysis* berarti pemisahan (Fahmy, Fahmy, Mobarak, El-Sakhawy, et al., 2020). Pirolisis adalah proses dekomposisi termal suatu bahan yang berlangsung tanpa adanya oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, sehingga tidak memungkinkan terjadinya pembakaran sempurna (Mohan et al., 2006).

Pada tahun 1970-an, terjadi krisis minyak bumi, yang mendorong pirolisis biomassa kembali menjadi teknologi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Untuk memaksimalkan produksi cairan, pada tahun 1980-an mulai diterapkan pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Pada tahun 1989, produk pirolisis mulai dikomersialkan dalam bentuk perisa makanan. Kemudian, pada tahun 1990-an, kualitas bio-oil ditingkatkan untuk menggantikan produk yang berasal dari petroleum. Pada tahun 2000-an, peningkatan harga minyak bumi serta isu pemanasan global akibat penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan permintaan biofuel dan biochar meningkat tajam. Mulai tahun 2005, penggunaan biochar sebagai media penyimpanan karbon (*carbon storage*) dan perbaikan kualitas tanah mulai diterapkan (Garcia-Nunez et al.,

2017). Perkembangan teknologi pirolisis secara ringkas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perkembangan ilmu dan teknologi pirolisis

Dalam perkembangannya, dekomposisi termal biomassa selama proses pirolisis menghasilkan tiga fraksi berbeda: bio-oil (fraksi uap yang terkondensasi), biochar (fraksi padat), dan gas (fraksi yang tidak dapat terkondensasi). Distribusi fraksi produk pirolisis ini dipengaruhi oleh jenis bahan baku serta kondisi proses, seperti suhu dan laju pemanasan. Produk bio-oil dapat berupa monofase atau terbagi menjadi fase air (dikenal sebagai asam piroligneus atau asap cair). Bio-oil ataupun asap cair mengandung senyawa kimia seperti fenol, aldehid, levoglukosan, hidroksiasetaldehid, hidrokarbon, dan air. Produk gas yang dihasilkan mengandung CO_2 , CO , H_2 , gas metana, serta hidrokarbon rantai pendek. Sementara itu, biochar atau char merupakan residu padat yang kaya akan karbon (Fahmy, Fahmy, Mobarak, El-Sakhawy, et al., 2020; Ronsse et al., 2015). Oleh karena itu, pirolisis menjadi proses kunci dalam pembangkit

bahan bakar dari sampah organik, sintesis nanomaterial karbon, produksi karbon massal, serta senyawa kimia (Devi & Rawat, 2021).

Keunggulan pirolisis terletak pada kemampuannya menghasilkan bio-oil dari biomassa dengan kecepatan tinggi dalam satu langkah sederhana, sehingga dianggap sebagai proses yang sangat hemat biaya (Sanahuja-Parejo et al., 2019). Teknologi pirolisis dapat diklasifikan menjadi tiga jenis: pirolisis lambat (*slow pyrolysis*), pirolisis intermediet (*intermediate pyrolysis*), dan pirolisis cepat (*fast/flash pyrolysis*), dengan kondisi proses yang dijelaskan pada **Tabel 2.1** (Jha et al., 2022).

Tabel 2.1 Kondisi operasi pirolisis lambat, intermediet, dan cepat

Proses	Suhu (°C)	Laju pemanasan (°C/min)	<i>Vapor residence time</i>	Bio-oil (% b/b)	Biochar (% b/b)	Gas (% b/b)
Pirolisis lambat	300-500	<50	>30 min	20-50	25-35	20-50
Pirolisis intermediet	400-600	200-300	10 min	35-50	25-40	20-30
Pirolisis cepat	400-900	10-1000	<2 detik	60-75	10-25	10-30

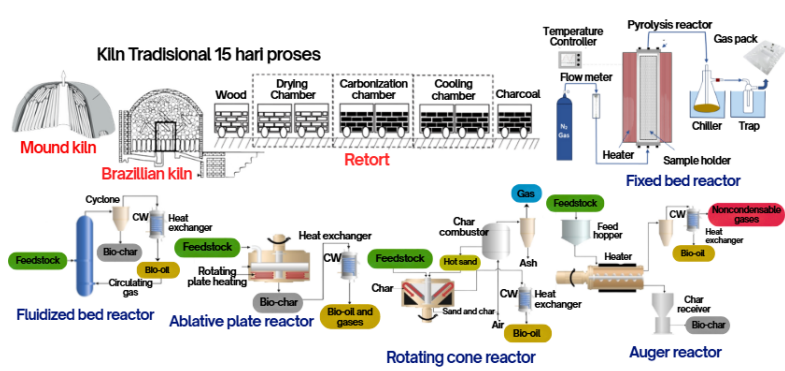
Sumber: (Jha et al., 2022)

Pirolisis lambat dilakukan dalam durasi yang relatif panjang, di mana biochar dan tar merupakan produk utama dan memungkinkan terjadinya reaksi repolimerisasi atau rekombinasi. Sementara itu, pirolisis cepat terutama menghasilkan bio-oil sebagai komponen produk utama (Fahmy, Fahmy, Mobarak, El-Sakhawy, et al., 2020). Di sisi lain, penggunaan pirolisis

intermediet memungkinkan produksi biochar dan bio-oil dalam jumlah lebih tinggi, serta menghasilkan gas dalam jumlah yang lebih rendah dibandingkan pirolisis lambat (Pahnla et al., 2023).

Laju pemanasan dan suhu memengaruhi kualitas produk serta hasil (yield) dari proses pirolisis. Secara spesifik, laju pemanasan yang lebih lambat (<10 °C/menit) cenderung menghasilkan lebih banyak biochar, sedangkan laju pemanasan yang lebih tinggi (>100 °C/detik) menghasilkan lebih banyak produk ringan (gas dan bio-oil). Pada kisaran suhu rendah (250–500 °C), rantai panjang polimer biomassa terurai lebih lambat. Sebaliknya, pada suhu tinggi (450–550 °C), produktivitas bio-oil meningkat, dan pada suhu di atas 550 °C, gas yang tidak dapat dikondensasi terbentuk lebih banyak (Elgarahy et al., 2021).

Proses pirolisis juga bergantung pada jenis reaktor (alat proses) yang digunakan. Mulai dari kiln (tungku pembakaran) dari tanah, batu bata, atau beton yang membutuhkan waktu 15 hari untuk pendinginan biochar. Kemudian dikembangkan retort yang mampu mengembunkan uap dan menghasilkan kualitas biochar yang tinggi (Garcia-Nunez et al., 2017). Memasuki abad ke-20, seiring dengan meningkatnya harga minyak bumi dan berkembangnya isu pemanasan global, untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas bio-oil, jenis *fixed bed*, *fluidized bed*, *ablative plate*, *rotating cone*, dan *auger* mulai dikembangkan. Perkembangan jenis reaktor yang digunakan seiring dengan kemajuan teknologi pirolisis dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Sumber: (Ronsse et al., 2015); (Garcia-Nunez et al., 2017); (Mansur et al., 2025)

Gambar 2.2 Perkembangan jenis reaktor pirolisis

B. Perkembangan Teknologi Hidrotermal Likuifaksi (HTL)

Perkembangan teknologi hidrotermal likuifaksi (HTL) yang memungkinkan pengolahan biomassa tanpa tahap pengeringan dimulai pada tahun 1960-an, dengan fokus pada pencairan selulosa dan limbah biomassa. Pada tahun 1980-an, dimulai pembangunan pabrik percontohan HTL. Pada tahun 1986, *United States Environmental Protection Agency (USEPA)* mengembangkan proses *sludge-to-oil reactor system (STORS)*, yang memungkinkan konversi lumpur limbah kota menjadi minyak (Grande et al., 2021). Sejak saat itu, teknologi HTL telah menjadi salah satu strategi yang menjanjikan dalam upaya menghasilkan senyawa kimia dan bahan bakar berkelanjutan.

Sejak abad ke-21, telah terjadi lonjakan penelitian tentang teknologi hidrotermal likuifaksi (HTL) biomassa di seluruh dunia. Tantangan dalam proses HTL adalah bagaimana mengoperasikan parameter proses yang tepat sehingga dicapai

kondisi optimal untuk menghasilkan produk bio-oil yang maksimal. Distribusi fraksi produk HTL dipengaruhi oleh parameter suhu, tekanan, komposisi biomassa, kadar air, laju pemanasan, waktu proses, dan penggunaan katalis. Proses HT secara umum diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yaitu HT-karbonisasi, HT-likuifaksi, dan HT-gasifikasi yang tergantung pada suhu dan tekanan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Mathanker et al., 2021; Mansur et al., 2017).

Naskah orasi ini berfokus pada HT-Likuifaksi (HTL), yang bertujuan untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan. Keunggulan inovatif dari teknologi HT-likuifaksi yaitu cocok digunakan untuk biomassa dengan kadar air tinggi seperti alga, *sludge*, dan *black liquor*. Air yang terkandung dalam sampel berfungsi sebagai media reaksi. Sebagai komparasi dengan proses pirolisis, gasifikasi, dan torefaksi yang membutuhkan pengeringan dan pengecilan ukuran. Secara ekonomi proses HTL lebih hemat energi dari segi persiapan biomassa.

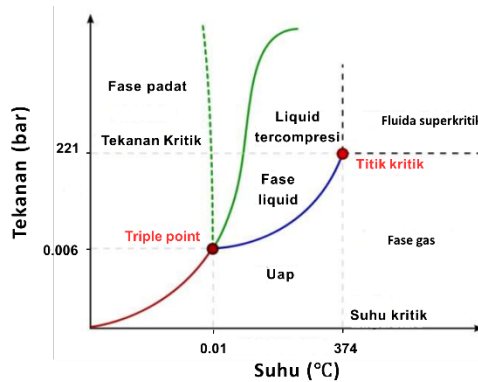
Tabel 2.2 Klasifikasi proses hidrotermal

Klasifikasi HT	Kondisi proses	Produk utama	Yield (% b/b)
HT-Karbonisasi	Suhu 180–250 °C, tekanan 2–10 MPa	Biochar	58% biochar
HT-Likuifaksi	Suhu 250-374 °C, tekanan 2–25 MPa	Bio-oil, liquid tar, value-added chemicals (fenolik, fenil, asam lemak)	60% liquid tar

HT-Gasifikasi	Suhu >374 °C, tekanan 18-25 MPa	Gas (CH ₄ , H ₂ , CO ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆)	47,4% gas
---------------	---------------------------------------	---	-----------

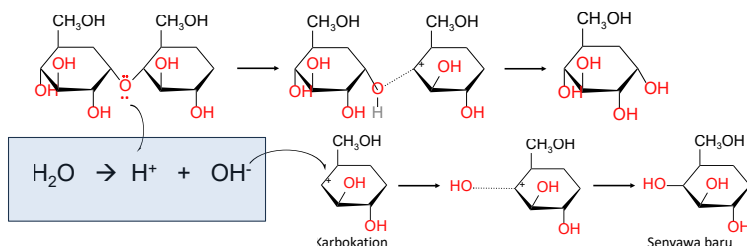
Sumber: (Mathanker et al., 2021; Simanungkalit et al., 2016)

Hidrotermal likuifaksi (HTL) menggunakan air (*hot pressurized water*) sebagai media reaksi utama. Pada suhu tinggi, memicu reaksi endotermik awal untuk pemutusan ikatan. Setelah ikatan terputus, terbentuk radikal bebas dan senyawa terfragmentasi. Kemudian radikal mengalami repolimerasi membentuk senyawa baru (Bao et al., 2024). Seiring dengan peningkatan suhu dan tekanan, sifat air mengalami perubahan. Pada kondisi subkritis, konstanta ionisasi meningkat, menghasilkan banyak produk ionik, terutama H⁺ dan OH⁻. Air pada suhu dan tekanan tinggi dapat berada dalam bentuk cair maupun gas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3. Di atas titik kritisnya, air berfungsi sebagai reaktan dan katalis, memberikan pengaruh signifikan terhadap jalannya proses HTL (Ranjbar & Malcata, 2023). Reaksi molekuler yang mungkin terjadi pada proses HTL biomassa yang melibatkan ion H⁺ dan OH⁻ dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4. Kondisi elektronegatif dari O pada biomassa (selulosa) dapat menyerang H⁺ (muatan positif dari media reaksi), sehingga ikatan O pada biomassa beresonansi membentuk karbokation. Ikatan O yang beresonansi tersebut berikatan dengan H⁺ membentuk senyawa baru yang stabil. Selanjutnya, OH⁻ pada media reaksi menyerang karbokation sehingga terbentuk senyawa baru yang mempunyai gugus -OH.



Gambar 2.3 Diagram fase air, menunjukkan perubahan sifat kimia fisik karena pengaruh suhu dan tekanan

Biomassa terdiri atas lipid, karbohidrat, protein, dan lignoselulosa, yang masing-masing menghasilkan produk akhir berbeda. Biomassa kaya lipid, seperti minyak nabati dan lemak hewani, lebih banyak menghasilkan bio-oil melalui hidrolisis asam lemak yang selanjutnya dapat terdekarboksilasi menjadi hidrokarbon rantai C_{15} – C_{20} . Biomassa kaya karbohidrat, seperti tebu dan jagung, akan mengalami depolimerisasi menjadi gula sederhana. Protein dapat terkonversi lebih lanjut menjadi asam amino, furan, asam organik dan senyawa oksigenat lainnya. Senyawa gula sederhana dan senyawa turunan protein ini bersifat larut dalam air. Sementara itu, biomassa lignoselulosa, seperti residu kayu, mengalami pemutusan ikatan karbon dengan karbon (C-C) dan karbon dengan oksigen (C-O) pada selulosa, hemiselulosa dan lignin sehingga dihasilkan senyawa seperti fenol, aldehid, keton, serta senyawa aromatik yang berkontribusi pada pembentukan bio-oil. (Bao et al., 2024).



Gambar 2.4 Peran air sebagai media reaksi pada kondisi subkritis dalam mendegradasi biomassa menjadi senyawa baru

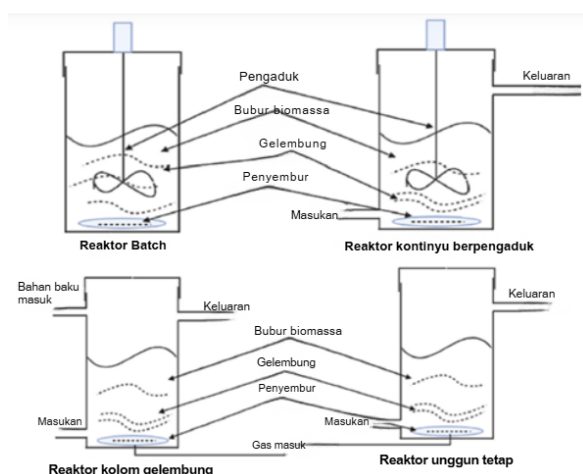
Peningkatan suhu dalam proses HTL secara langsung mempengaruhi tekanan proses. Tekanan memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap produksi bio-oil pada kisaran suhu rendah (250–300 °C) dalam kondisi subkritis. Namun, pada kisaran suhu tinggi (350–375 °C) dalam kondisi superkritis, pengaruh tekanan menjadi kurang signifikan karena kepadatan pelarut di sekitar molekul biomassa, menciptakan efek sangkar (*cage-like effect*) pada ikatan C–C yang menghambat pemutusannya dan memperlambat proses pemecahan biomassa (Bao et al., 2024).

Katalis berperan penting dalam meningkatkan yield dan kualitas bio-oil dengan mempercepat degradasi biomassa, serta menghambat reaksi sekunder seperti repolimerisasi dan perengkahan berlebihan yang dapat menurunkan kualitas produk. Katalis berperan dalam menurunkan energi aktivasi dengan menyediakan situs aktif pada permukaan untuk memfasilitasi pemutusan ikatan C–C, C–H, dan C–O pada biomassa. Selain itu, kehadiran katalis dapat mengurangi tekanan, suhu, dan waktu proses. Dibandingkan dengan proses non-katalitik dengan yield 35%, proses HTL kompos bekas jamur menggunakan katalis K_2CO_3 diperoleh yield yang lebih tinggi (48%). Media alkali

mempengaruhi reaksi biomassa dengan melemahkan interaksi intramolekul dalam ikatan glikosidik selulosa dalam biomassa yang mengakibatkan penurunan energi aktivasi dan mengurangi stabilitas termal struktur kimia (Mathanker et al., 2021).

Beberapa jenis reaktor yang banyak digunakan untuk proses HTL adalah reaktor batch (BR), reaktor tangki yang diaduk secara kontinyu (CSTR), reaktor unggun tetap (FBR), dan reaktor kolom gelembung (BCR) yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada desain reaktor untuk HTL ditemukan bahwa sulit untuk mencapai laju pemanasan tinggi yang diperlukan untuk skala industri karena terutama reaktor batch mentransfer panas melalui konduksi (Elhassan et al., 2023).

Optimalisasi teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi (HTL) untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan dan biofuel dari berbagai jenis biomassa serta pemanfaatannya, akan dijabarkan dalam Bab III naskah orasi ini.



Sumber: (Elhassan et al., 2023)

Gambar 2.5 Jenis reaktor yang digunakan untuk proses HTL

III. OPTIMALISASI TEKNOLOGI PIROLISIS DAN HIDROTHERMAL LIKUIFAKSI DALAM KONVERSI BIOMASSA

Teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi adalah teknologi yang sensitif terhadap panas (suhu reaksi), tekanan, dan waktu proses, sehingga untuk biomassa yang sama akan menghasilkan komposisi produk yang berbeda seiring dengan perubahan kondisi operasi. Sejak tahun 2008, riset terkait pirolisis dan hidrotermal likuifaksi telah dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan kondisi optimal dalam konversi biomassa menjadi bahan kimia terbarukan dan biofuel berupa bio-oil dengan yield yang tinggi.

A. Konversi biomassa menjadi bahan kimia terbarukan

Biomassa kering dapat diolah melalui proses pirolisis untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan. Selama proses berlangsung, ikatan C–C, C–H, dan C–O pada selulosa, hemiselulosa, serta lignin dalam biomassa lignoselulosa terurai oleh panas melalui reaksi dehidrasi, hidrolisis, dekarboksilasi, dan depolimerisasi. Pada proses pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) biomassa lignoselulosa terkonversi menjadi biochar, gas, dan produk cair (hasil kondensasi uap). Produk cair ini terbagi menjadi dua fase, yaitu fase minyak berwarna hitam kecoklatan yang dikenal sebagai bio-oil dan fase air yang disebut asap cair atau asam piroligneus (Mansur, Yoshikawa, et al., 2013). Dari kedua fase cair tersebut, bio-oil memiliki nilai kalor lebih tinggi dari biomassa maupun asap cair sehingga berpotensi untuk aplikasi bahan bakar, sedangkan asap cair lebih sesuai

dimanfaatkan sebagai sumber bahan kimia terbarukan. Proses pirolisis berbagai biomassa lignoselulosa baik yang diikuti dengan katalitik reaksi untuk meningkatkan selektivitas maupun proses distilasi untuk memisahkan senyawa kimia terbarukan dapat diilustrasikan seperti Gambar 3.1 dan hasil yang diperoleh dirangkum dalam Tabel 3.1.



Sumber: (Mansur et al., 2014)

Gambar 3.1 Dua tahap proses (pirolisis dan katalitik reaksi) untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan dari biomassa

Tabel 3.1 Proses pirolisis, katalitik reaksi, dan distilasi berbagai biomassa lignoselulosa dan produk yang dihasilkan

Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Chip kayu cedar	Pirolisis lambat, reaktor auger	500 °C, 5.0–5.5 °C/s, laju umpan 270 g/jam	14% asap cair, 3,3% bio-oil, 39,8% heavy tar, 39,9% biochar, 3% gas	(Mansur, Yoshikawa, et al., 2013)

Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Asap cair hasil pirolisis kayu cedar	Reaksi katalitik ($\text{ZrO}_2\text{--FeO}_x$)	350-450 °C, W/F 1-4 jam, laju umpan 2 ml/jam	Hidroksiaseton + asam karboksilat □ 33% aseton, 22% 2-butanon	(Mansur, Yoshikawa, et al., 2013)
Kulit kakao	Pirolisis lambat, <i>fixed bed reactor</i>	500 °C, 50 min	50,6% asap cair (16,2% asam karboksilat, 15,7% keton), 9% bio-oil, 40% biochar	(Mansur et al., 2014)
Asap cair hasil pirolisis kulit kakao	Reaksi katalitik ($\text{ZrO}_2(8,9)\text{--FeO}_x$)	350 °C, W/F 1 jam, laju umpan 1 ml/jam, 2 jam	Produk keton alifatik: 17,9% aseton, 17,6% 2-butanon	(Mansur et al., 2014)
Kulit biji kapulaga	Pirolisis lambat, <i>fixed bed reactor</i>	350-550 °C laju pemanasan 0.36-0.45 °C/s	63,9% asap cair (25,2% metanol, 25,7% asam asetat, 11,6% hidroksiaseton)	(Rahmawati et al., 2022)
Ampas biji kapulaga	Pirolisis lambat, <i>fixed bed reactor</i>	350-550 °C, laju pemanasan 0.36-0.45 °C/s	52% asap cair (13,6% metanol, 19,4% asam asetat, 14,1% hidroksiaseton)	(Rahmawati et al., 2022)

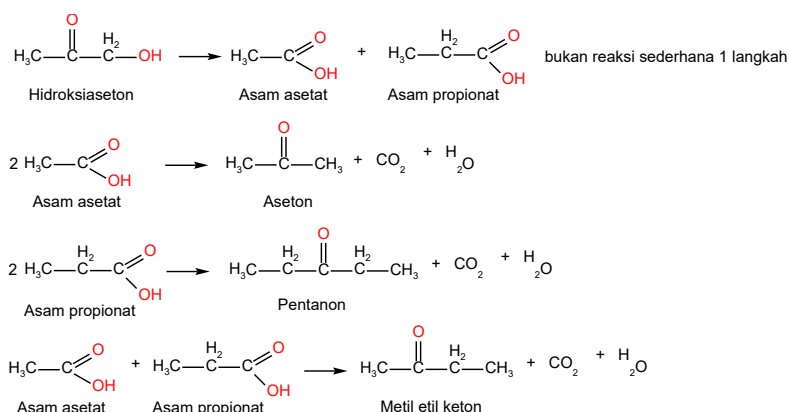
Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Cangkang kelapa sawit	Pirolisis – GC/MS	400–600 °C	Fenol, alkil fenol, alkil metoksi fenol (600 °C), benzena, benzendiol (450 °C); asam karboksilat, levoglukosan 600 °C)	(Mansur & Simanungkalit, 2018)
Sekam padi	Pirolisis lambat, distilasi dengan rotavapor	Pirolisis: 500 °C, 8 jam Distilasi: 40-60 °C, 200 mbar. 1 jam	41% asam asetat, 22% hidroksiaseton (60°C) 20% fenol, 20% 2-metoksi-fenol (50 °C)	(Mansur et al., 2021)

Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Ranting kayu putih	Pirolisis lambat, distilasi dengan rotavapor	Pirolisis: 500 °C, 8 jam Distilasi: 40-60 °C, 200 mbar. 1 jam	65% asam asetat, 12% hidroksiaseton (60°C) 20% fenol (50 °C) 20% furfural, 22% 2-metoksi-fenol (40 °C)	(Mansur et al., 2021)

Berdasarkan Tabel 3.1 proses pirolisis biomassa lignoselulosa menjadi bahan kimia terbarukan sangat dipengaruhi oleh kondisi proses, khususnya suhu. Senyawa kimia terbarukan yang dominan dihasilkan antara lain asam asetat (65%), metanol (25,2%), hidroksiaseton (22%), 2-metoksi-fenol (22%), fenol (20%), dan furfural (20%), yang terlarut dalam asap cair dari berbagai sumber biomassa. Jika rata-rata produksi asap cair dari biomassa lignoselulosa sekitar 40% dari berat bahan baku, maka dapat diperkirakan potensi hasil senyawa kimia terbarukan. Dengan basis 1 kg biomassa lignoselulosa, diperoleh sekitar 260 g asam asetat, 100 g metanol, 88 g hidroksiaseton, 88 g 2-metoksi-fenol, 80 g fenol, dan 80 g furfural.

Senyawa kimia terbarukan dapat ditingkatkan selektivitasnya melalui reaksi katalitik. Dengan menggunakan katalis ZrO_2 -FeOx, asap cair yang kaya akan asam asetat dan hidroksiaseton dapat dikonversi menjadi aseton dan 2-butanon sesuai jalur reaksi yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pada penggunaan katalis tersebut, keberadaan air dalam asap cair sebagai bahan

baku bermanfaat dalam penggunaan oksigen kisi (*lattice oxygen*) selama reaksi oksidasi dan ketonisasi berlangsung. Senyawa keton yang dihasilkan dari reaksi ini tidak bereaksi lebih lanjut dengan katalis (Mansur, Yoshikawa, et al., 2013; Mansur, Shimokawa, et al., 2013; Mansur et al., 2014). Hasil reaksi katalitik menunjukkan bahwa dari asap cair dapat diperoleh sekitar 33% aseton dan 22% 2-butanon. Dengan asumsi produksi asap cair dari biomassa lignoselulosa rata-rata mencapai 40% dari berat bahan baku, maka potensi aseton yang dapat dihasilkan diperkirakan sekitar 132 g dan 2-butanon sekitar 88 g per 1 kg biomassa.

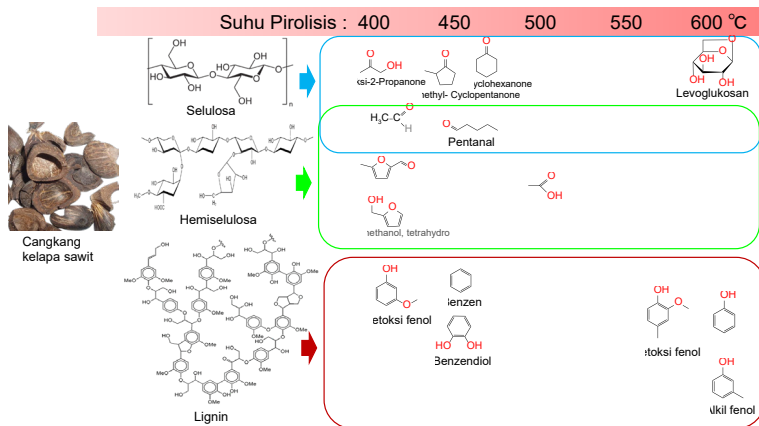


Sumber: (Mansur, Yoshikawa, et al., 2013; Mansur, Shimokawa, et al., 2013; Mansur et al., 2014)

Gambar 3.2 Jalur reaksi hidroksiaseton, asam karboksilat, dan ester menjadi keton menggunakan katalis $\text{ZrO}_2\text{-FeOx}$

Efek suhu pada proses pirolisis biomassa lignoselulosa terhadap komposisi senyawa kimia dipelajari menggunakan metoda pirolisis-GC/MS pada rentang suhu 400–600 °C. Hasilnya

menunjukkan pada suhu yang berbeda menghasilkan dominasi senyawa yang berbeda pula. Hal ini dipengaruhi oleh proses degradasi dan depolimerisasi komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terkandung di dalamnya. Pada suhu 600 °C, produksi fenol, alkil fenol, dan alkil metoksi fenol lebih tinggi, sedangkan pada suhu 450 °C senyawa benzena dan benzenadiol lebih dominan. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa fenolik terutama berasal dari lignin, mengalami dekomposisi pada rentang suhu yang luas. Sementara itu, aldehid, keton, furan, dan metoksi fenol lebih banyak terbentuk pada suhu rendah (sekitar 400 °C). Senyawa asam karboksilat dan levoglukosan dihasilkan pada suhu 400–600 °C, dengan kecenderungan lebih tinggi pada 600 °C. Ditinjau dari jalur dekomposisi, hidroksi-keton dan levoglukosan berasal dari selulosa, sedangkan asam karboksilat (misalnya asam asetat) dan furan berasal dari hemiselulosa. Pembentukan aldehid, keton, serta asam organik terjadi akibat dekomposisi cincin gula pada selulosa dan hemiselulosa pada suhu 150–400 °C (Mansur & Simanungkalit, 2018). Secara skematis, proses dekomposisi biomassa cangkang kelapa sawit pada berbagai suhu untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



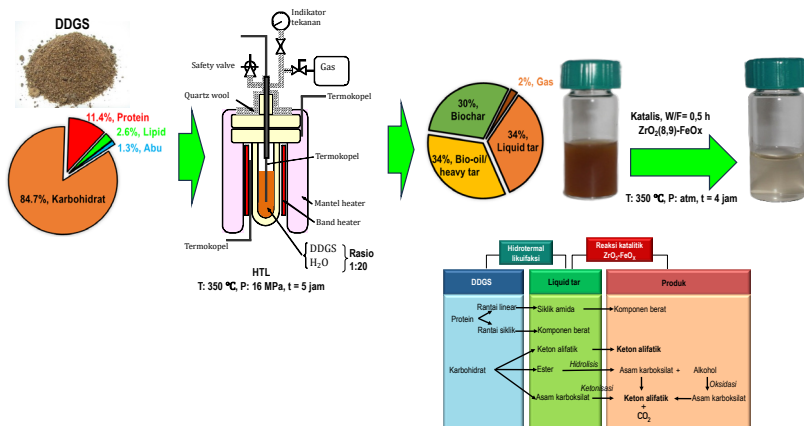
Gambar 3.3 Skema dekomposisi komponen cangkang kelapa sawit pada berbagai suhu pirolisis untuk menghasilkan senyawa kimia terbarukan

Stillage merupakan produk samping dari proses fermentasi biji-bijian sereal menjadi bioetanol, berupa padatan kaya akan protein dengan kadar air mencapai 90 – 95,3%. Setelah dikeringkan, produk samping ini dikenal sebagai *dried distiller grains with solubles* (DDGS), yang umumnya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Namun, apabila tidak dikeringkan, *stillage* yang berkadar air tinggi dapat diolah dengan teknologi hidrotermal likuifaksi, sehingga lebih hemat energi dibanding proses pengeringan, sekaligus menghasilkan produk bernilai tambah berupa bahan kimia terbarukan (Mansur, Shimokawa, et al., 2013).

DDGS yang mengandung 31,4% karbohidrat, 54,5% protein, 9,1% lipid, dan 5% abu dengan kandungan karbon 49%, dapat dikonversi menjadi bahan kimia terbarukan melalui proses HTL. Proses HTL dilakukan dalam reaktor *batch* tipe autoklaf pada

rentang suhu 200–350. Pada suhu 300–350 °C, pembentukan CO₂ menurun, sedangkan produksi hidrokarbon ringan (C₁–C₄) meningkat. Selain gas, proses ini juga menghasilkan biochar, *heavy tar* berbentuk pasta, dan liquid tar. Kondisi optimum untuk menghasilkan liquid tar dicapai pada air subkritis, yaitu suhu 350 °C, tekanan 16 MPa, kondisi inert nitrogen, waktu reaksi 5 jam, serta rasio massa DDGS terhadap air 1:20. Pada kondisi tersebut diperoleh 34% C-mol liquid tar, 2% gas, 30% biochar, dan 34% *heavy tar*. Senyawa kimia terbarukan utama dalam liquid tar berupa campuran yang didominasi siklik amida (12%) dan alifatik keton (4%). Skematik alur proses HTL dari DDGS ditunjukkan pada Gambar 3.4 (Mansur, Shimokawa, et al., 2013).

Hasil optimasi proses HTL terhadap jalur konversi biomassa DDGS menjadi bahan kimia terbarukan telah ditemukan bahwa protein terkonversi menjadi *heavy tar*, senyawa siklik amida, dan heterosiklik aromatik. Karbohidrat terdegradasi menjadi alifatik keton, ester, asam karboksilat, aldehyd, siklik keton, fenol, dan benzena. Sementara itu, lipid terkonversi menjadi asam lemak bebas (asam karboksilat) dan ester (Gambar 3.4). Dalam proses HTL ini, abu yang terkandung dalam DDGS tidak mengalami konversi, melainkan tetap dalam bentuk mineral, yang terdiri dari K, Mg, Ca, Si, P, S, Al, Fe, dan Zn. Kandungan K, P, dan S ditemukan lebih tinggi dibandingkan unsur logam lainnya (Mansur, Shimokawa, et al., 2013).



Sumber: (Mansur, Shimokawa, et al., 2013)

Gambar 3.4 Skematik alur proses HTL dari DDGS

Untuk meningkatkan selektivitas senyawa kimia terbarukan dilakukan reaksi lanjutan terhadap liquid tar menggunakan katalis $\text{ZrO}_2(8,9)\text{-FeOx}$. Variasi rasio berat katalis terhadap laju alir liquid tar (W/F) serta waktu reaksi diuji untuk memperoleh kondisi optimum. Hasil terbaik diperoleh pada W/F 0,5 jam dan waktu reaksi 4 jam, yang menghasilkan senyawa kimia terbarukan berupa 18% alifatik keton (aseton, 2-butanon), 7% fenol dan benzena. Jika digunakan 1 kg bahan baku DDGS yang dicampur dengan 20 kg air sebagai media reaksi diprediksi akan menghasilkan sekitar 7 kg liquid tar. Jika dilanjutkan dengan katalitik reaksi maka diprediksi akan diperoleh 1,3 kg keton alifatik, 0,4 kg fenol dan benzena, serta senyawa lain (siklik keton, eter, heterosiklik aromatik, siklik amida, dan aldehyd) dalam jumlah yang lebih sedikit.

Untuk meningkatkan yield liquid tar dari DDGS digunakan *co-solvent* etanol dengan variasi konsentrasi 15–99,5%.

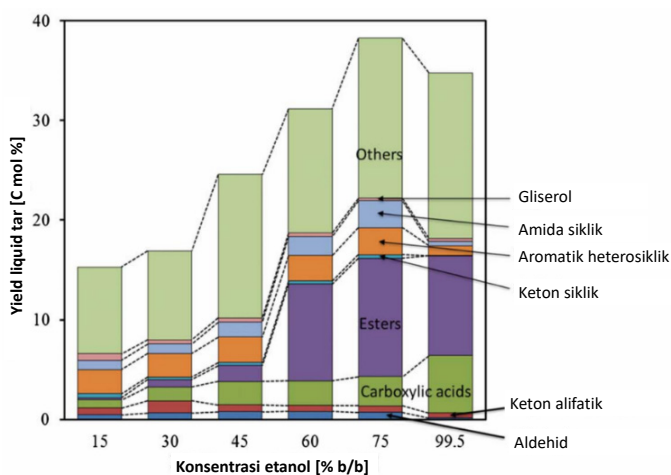
Konsentrasi 15 wt.% dipilih berdasarkan kadar bioetanol setelah fermentasi, yaitu sekitar 15%. Optimalisasi kondisi proses dilakukan melalui variasi konsentrasi etanol, peningkatan suhu (200–280 °C), serta rasio DDGS terhadap media reaksi (1:8–1:20). Yield liquid tar tertinggi yaitu 38,2 C-mol%, dicapai pada kondisi 280 °C, rasio 1:20, konsentrasi etanol 75%, dan waktu reaksi 5 jam. Pada kondisi ini, terbentuk hanya 1,6% C-mol biochar dan 3% C-mol *heavy tar*.

Fenomena tersebut berkaitan dengan sifat etanol pada kondisi sub/supercritik ($T = 240,75\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P = 6,14\text{ MPa}$), dimana konstanta dielektrik rendah dan ikatan hidrogen lebih lemah dibandingkan air. Hal ini meningkatkan difusi etanol ke dalam matriks biomassa, sehingga kelarutan senyawa organik lebih tinggi menghasilkan liquid tar yang lebih optimal. Selain itu, etanol berperan sebagai donor hidrogen yang mencegah pembentukan biochar dan *heavy tar*, serta menstabilkan radikal bebas guna mengurangi repolimerisasi (Mansur et al., 2017).

Sebaliknya, penggunaan etanol murni (99,5%), menurunkan pembentukan produk cair karena berkurangnya kadar radikal bebas yang biasanya berasal dari ionisasi air. Etanol murni pada kondisi sub/supercritik bersifat asam yang lebih lemah dibanding air, sehingga mendorong pembentukan *heavy tar* dan biochar akibat repolimerisasi atau kondensasi. Oleh karena itu, kehadiran air dalam HTL sangat penting untuk meningkatkan yield liquid tar dengan kandungan bahan kimia yang lebih tinggi. *Hot pressurized water* dengan *co-solvent* etanol memiliki keasaman kuat ($k_w \approx 10^{-11}$) yang mendukung reaksi hidrolisis/solvolisis, yakni pencairan biomassa dengan pelarut organik reaktif (Mansur et al., 2017).

Pada penggunaan etanol 75% sebagai media reaksi, produk utama yang dihasilkan adalah senyawa ester (12%)

melalui reaksi esterifikasi antara asam karboksilat—turunan karbohidrat dan lipid DDGS—dengan etanol. Ester yang teridentifikasi meliputi etil asetat, etil levulinat, dietil suksinat, etil pentadekanoat, etil 9-heksadekenoat, etil tridekanoat, etil oleat, dan metil oktadekanoat. Selain itu, ditemukan pula asam karboksilat (3%) yang tidak mengalami esterifikasi, seperti asam asetat, asam propanoat, asam 2-metilpropanoat, dan asam L-glutamat. Senyawa kimia lain yang terkandung dalam liquid tar dapat dilihat pada Gambar 3.5 (Mansur et al., 2017). Jika digunakan 1 kg DDGS yang dicampur dengan 20 kg larutan etanol 75% sebagai media reaksi diprediksi akan menghasilkan sekitar 8 kg liquid tar yang mengandung 0,9 kg ester, dan 0,2 kg asam karboksilat.



Sumber: (Mansur et al., 2017)

Gambar 3.5 Yield senyawa kimia dalam liquid tar hasil variasi konsentrasi *co-solvent* etanol terhadap DDGS

Belakangan ini, riset dan inovasi berfokus pada produksi bioetanol generasi kedua dari biomassa lignoselulosa untuk menghindari kompetisi dengan pangan. Proses ini meliputi (1) perlakuan awal (*pretreatment*) untuk memisahkan lignin, (2) hidrolisis untuk mengkonversi selulosa menjadi gula, (3) fermentasi untuk mengkonversi gula menjadi bioetanol, serta (4) distilasi yang menghasilkan bioetanol sekaligus *stillage* sebagai produk samping yang dapat dikonversi menjadi bahan kimia. *Stillage* dari tandan kosong sawit mengandung 12,6% padatan, 0,4% glukosa, 0,07% silosa, dan 0,1% etanol, dengan kadar air tinggi (86,9%), sehingga teknologi HTL dipandang tepat untuk mengkonversinya menjadi produk bernilai tambah (Simanungkalit et al., 2015).

Proses HTL terhadap *stillage* dari tandan kosong sawit dilakukan pada suhu 275-325°C, dengan variasi waktu 0-90 menit. Pada kondisi optimum, yaitu suhu 325 °C, tekanan 12,5 MPa, dan waktu proses 60 menit dalam reaktor *batch* tipe autoklaf, *stillage* terkonversi sebesar 87% berdasarkan kandungan padatan, dengan yield liquid tar sebesar 11,3%. Liquid tar yang dihasilkan didominasi oleh asam asetat (84%), selain itu juga mengandung fenol (2,5%) dan 2-pirilidinon (1,4%). Asam asetat dan fenol berasal dari degradasi selulosa, dan 2-pirilidinon dari senyawa yang mengandung nitrogen di dalam 12,6% padatan (Simanungkalit et al., 2015).

Penggunaan katalis natrium karbonat (Na_2CO_3) dan potasium karbonat (K_2CO_3) dengan variasi 0-20% dalam proses HTL terhadap *stillage* dari tandan kosong sawit dilakukan pada rentang suhu 250-310 °C dan waktu reaksi 0-120 menit. Pada kondisi optimum (270 °C, 7 MPa, waktu 30 menit) katalis Na_2CO_3 dan K_2CO_3 terlarut sempurna serta terionisasi menjadi ion-ion alkali Na^+ , K^+ , dan CO_3^{2-} yang terdispersi dalam larutan.

Keelektronegatifan mencerminkan kemampuan atom menarik elektron, yang berbanding lurus dengan potensial ionisasi—semakin tinggi keelektronegatifan, semakin besar potensial ionisasi. Natrium (Na) memiliki keelektronegatifan lebih besar dibandingkan kalium (K), sehingga potensial ionisasinya pun lebih tinggi. Oleh karena itu, Na_2CO_3 memiliki kemampuan lebih besar dalam mendegradasi biomassa *stillage* dari tandan kosong sawit dibandingkan K_2CO_3 , sehingga menghasilkan persentase total senyawa kimia lebih tinggi pada penggunaan 20% Na_2CO_3 sebagai katalis. Dengan 20% Na_2CO_3 , *stillage* terkonversi sebesar 43,6% berdasarkan kandungan padatan. Liquid tar yang dihasilkan pada kondisi ini mengandung 16% etanol dengan kadar asam asetat yang lebih rendah, yaitu 5%. Dengan demikian, proses HTL terhadap *stillage* berpotensi meningkatkan produksi etanol secara keseluruhan dari tandan kosong kelapa sawit karena adanya tambahan etanol dari liquid tar (Simanungkalit et al., 2016).

Seiring dengan dihasilkannya produk samping bioetanol generasi ke-2 berupa *stillage*, terdapat pula produk samping lain yaitu cairan lindi hitam (*black liquor*). Pada pilot plant bioetanol generasi ke-2 berbasis tandan kosong sawit di Pusat Riset Kimia Molekuler – BRIN, *black liquor* dihasilkan pada tahap *pretreatment* kimiawi menggunakan basa NaOH untuk pemisahan lignin (proses delignifikasi) (Mansur et al., 2016). *Pretreatment* kimiawi ini bertujuan meningkatkan biodegradasi selulosa dengan menghilangkan lignin dan atau hemiselulosa, serta menurunkan tingkat polimerisasi dan kristalinitas selulosa. Perlakuan berbasis basa menyebabkan perubahan struktur lignin melalui degradasi ester dan rantai samping glikosidik, sekaligus menimbulkan dekristalisasi parsial selulosa dan solvasi parsial

hemiselulosa sehingga meningkatkan ketersediaan selulosa. Dibandingkan *pretreatment* asam, metode berbasis basa lebih efektif dalam melarutkan lignin, namun kurang efisien dalam mendegradasi selulosa dan hemiselulosa (Hidayat, 2013).

Black liquor merupakan cairan berwarna hitam yang dari ilot plant bioetanol G2 PR Kimia Molekuler mempunyai pH 9 mengandung 12% lignin, 6% hemiselulosa, 1% selulosa, dan 80% air. Proses HTL dilakukan dengan memvariasikan derajat keasamaan *black liquor* pada pH 9 dan pH 7 (dengan penambahan H_2SO_4 70%). Pada pH 9, HTL menghasilkan senyawa fenol sekitar 20%, sedangkan pada pH 7 (275°C, 2 jam) produksi fenol meningkat hingga 23%. Selain fenol, proses ini juga menghasilkan propilen oksida, butirolakton, dan guaiakol dengan konsentrasi masing-masing 16, 11 dan 8 mol%. Pembentukan senyawa-senyawa oksigenat ini kemungkinan dipicu oleh terbentuknya natrium sulfat dalam larutan, yang berperan sebagai katalis dalam mempercepat dekomposisi *black liquor* (Mansur et al., 2016).

Untuk menetralkan *black liquor*, selain menggunakan H_2SO_4 , dilakukan juga dengan HCl 37%. Setelah pH mencapai kondisi netral, *black liquor* kemudian diproses melalui HTL pada suhu 225–300 °C selama 2 jam menghasilkan produk dengan kandungan senyawa fenol yang lebih tinggi yaitu sebesar 29,2–67,2% (Mansur, Muryanto, et al., 2019).

Optimasi dalam proses HTL terhadap biomassa berkadar air tinggi telah memberikan nilai tambah pada produk samping produksi bioetanol, baik generasi pertama maupun kedua. Melalui proses ini, biomassa berhasil dikonversi menjadi berbagai senyawa kimia, termasuk keton alifatik, ester (seperti etil asetat, etil levulinat), asam karboksilat (seperti asam asetat,

asam propionat), aldehid, keton siklik, etanol, fenol, serta benzena.

B. Konversi biomassa menjadi biofuel

Proses konversi biomassa lignoselulosa melalui proses pirolisis lambat menghasilkan produk cair berupa bio-oil. Seperti halnya cangkang kelapa sawit mempunyai nilai kalor sekitar 17,5 MJ/kg (Mansur & Simanungkalit, 2018), sementara bio-oil dari proses pirolisis cangkang tersebut mempunyai nilai kalor 23,3 MJ/kg. Bio-oil sebagai biofuel diaplikasikan dengan cara dicampur dengan diesel oil ataupun bensin. *Light oil* dari bio-oil yang berasal dari *wood chip* poplar dan pinus yang sebelumnya dihidrogenasi, dicampurkan sebanyak 5% ke dalam diesel oil dengan penambahan 3% n-oktanol sebagai *co-solvent* agar terbentuk campuran homogen. Campuran bahan bakar ini dapat menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada uji pembakaran di mesin (Zou et al., 2025). Pencampuran 10% bio-oil yang berasal dari makroalga coklat *Ascophyllum nodosum* dengan bensin dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menurunkan emisi gas CO, NO_x, dan emisi hidrokarbon (HC) (Amrullah et al., 2024). Penggunaan bio-oil langsung tanpa pencampuran dengan bahan bakar fosil masih mengalami kendala karena nilai kalor yang disyaratkan masih tergolong rendah (sekitar setengah dari bahan bakar fosil). Rendahnya nilai kalor ini karena bio-oil mengandung senyawa oksigenat 10-40% diantaranya senyawa asam karboksilat, fenol, keton, aldehid, dan furan serta kandungan air yang cukup tinggi 20-

50% yang dapat menimbulkan korosi pada mesin (Mansur et al., 2022).

Bio-oil sebagai produk cair dari proses pirolisis terutama berasal dari dekomposisi lignin. Produksi bio-oil dari berbagai biomassa lignoselulosa dirangkum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Produksi bio-oil dari berbagai biomassa

Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Cangkang kelapa sawit	Pirolisis lambat, <i>fixed bed</i> reactor	600 °C	9,9% bio-oil. HHV [#] 23 MJ/kg	(Mansur et al., 2022)
HDO bio-oil	Katalis Ru/C, Pd/C autoklaf reaktor	250 °C, H ₂ 20 bar, 4 h	69-78% HDO oil, HHV 29,8 MJ/kg	(Mansur et al., 2022)
Pelepah kelapa sawit	Katalitik pirolisis, zeolit BEA, <i>fixed bed</i> reactor	400-550 °C, 2 jam, C/F 0,08-0,31 g/g	69% bio-oil (60% aromatik oksigenat dominan fenol)	(Mansur, Debora, et al., 2023)

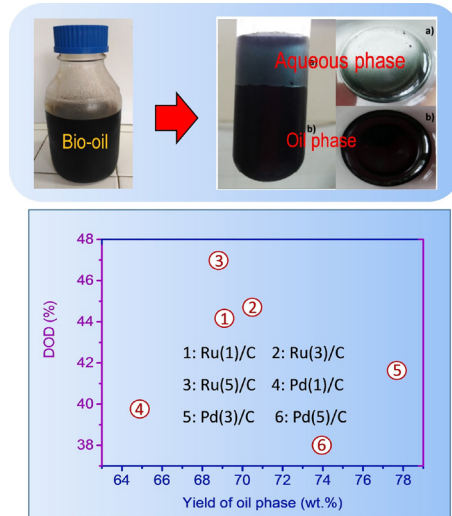
Bahan Baku	Jenis Proses / Reaktor	Kondisi reaksi	Komposisi dan Jenis Produk	Sumber
Pelepah kelapa sawit	Katalitik pirolisis, zeolit MFI, BEA, FAU, <i>fixed bed</i> reactor	500°C, 2 jam, C/F 0,16 g/g	54-66% bio-oil (52-62% senyawa fenolik), 6-15% gas (H ₂ , C ₁ -C ₃ HC)	(Hauli et al., 2024)
Cangkang kelapa sawit dan PE / PET ^{##}	Ko-pirolisis, <i>fixed bed</i> reactor	500°C, 1 jam, Rasio 1:1	10% bio-oil HHV 32 dan 34 MJ/kg	(Simanungkalit & Mansur, 2020b)
Pelepah kelapa sawit dan polistiren	Ko-pirolisis, <i>fixed bed</i> reactor	300-500°C, 2 jam, rasio 1:9-9:1	80% bio-oil, HHV 41 MJ/kg	(Putri et al., 2025)
Pelepah kelapa sawit dan polistiren	Ko-pirolisis, <i>fixed bed</i> reactor	500°C, 2 jam, rasio 1:1-2:1	65% bio-oil (50% bensin, 10% diesel oil), HHV 40 MJ/kg	(Mansur et al., 2025)

HHV= Higher heating value (nilai kalor)

PE = polietilen, PET = polietilen tereptalat

Reaksi hidrideoksigenasi (HDO) terhadap bio-oil berfungsi untuk peningkatan nilai kalor melalui pengurangan kandungan oksigen yang diindikasikan dengan peningkatan *degree of deoxygenation* (DOD). Proses ini dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 3.6. Keberhasilan proses HDO

diidentifikasi dengan dihasilkannya CO dan CO₂ sebagai komponen utama produk gas (Zuas et al., 2018).



Sumber: (Mansur et al., 2022)

Gambar 3.6 Proses HDO bio-oil terhadap variasi katalis

Berdasarkan Tabel 3.2, bio-oil yang dihasilkan dari biomassa lignoselulosa melalui pirolisis lambat memiliki nilai kalor dan tingkat kestabilan yang masih rendah. Pada perkembangan 5 tahun terakhir, untuk meningkatkan nilai kalor dan stabilitas bio-oil dilakukan modifikasi umpan yang dikenal dengan proses ko-pirolisis dimana biomassa dicampur dengan bahan yang mengandung senyawa hidrokarbon seperti plastik (sebagai *co-feed*) (Simanungkalit & Mansur, 2020a). Plastik kaya akan hidrogen yang berfungsi dalam proses degradasi termal biomassa (Simanungkalit & Mansur, 2020a). Berbagai jenis limbah plastik

seperti *low-density* polietilen (LDPE), *high-density* polietilen (HDPE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), dan polistiren (PS) dapat dimanfaatkan sebagai *co-feed* untuk proses ko-pirolisis (Mansur et al., 2018). Keunggulan produk bio-oil yang dihasilkan dari proses ko-pirolisis biomassa dan plastik adalah kandungan airnya rendah (164 ppm) dengan nilai kalor yang hampir setara dengan bahan bakar cair dari minyak bumi (Mansur, Fariza, et al., 2023). Pemisahan secara distilasi bio-oil yang berasal dari ko-pirolisis pelepah sawit dan polistiren dapat diperoleh bahan bakar yang setara dengan bensin dan diesel oil (Mansur et al., 2025). Fraksi tersebut dapat bercampur sempurna dengan bahan bakar fosil tanpa penambahan *co-solvent* (Mansur, Aminuddin, et al., 2023). Foto bio-oil yang berasal dari ko-pirolisis pelepah kelapa sawit dan polistiren serta produk hasil distilasi dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Foto bio-oil yang berasal dari ko-pirolisis pelepah kelapa sawit dan polistiren (a) serta produk hasil distilasi (b)

C. Riset pengembangan biofuel berbasis minyak nabati

Perkembangan biofuel di Indonesia ditandai dengan pengolahan minyak nabati, seperti minyak kelapa sawit yang telah menjadi bahan baku biodiesel mandatori sejak 2013, mulai dari B10, B20, B30 pada 2020, hingga sekarang (2025) menjadi B35. Namun, penggunaan B30 pada kendaraan menimbulkan presipitat yang memperpendek umur filter bahan bakar, akibat kandungan monogliserida dan air dalam biodiesel yang membeku pada suhu dingin (Mansur, Fitriady, et al., 2019) and as a consequence, a large-scale production of biodiesel from palm oil will be significantly increased in the country. In application as public transportation fuel, biodiesel quality and blending composition play an important role for the success of the implementation of B30 program. Indonesia consists of highlands and lowlands as urban areas that have different temperature regions varying from 12-35°C. Cold temperature could accelerate the formation of precipitate of B30 fuels. Samples of B30 fuels were made by blending biodiesel and/or hydrogenated vegetable oil (HVO. Meski biodiesel kurang optimal di daerah bersuhu dingin, uji emisi B30, B50, dan B100 menunjukkan emisi CO, hidrokarbon (HC), dan partikulat yang rendah, namun emisi NO_x lebih tinggi dibanding diesel oil. Selain itu, *fuel economy* menurun masing-masing sebesar 3%, 7%, dan 11% (Reksowardojo et al., 2023).

Adanya keterbatasan biodiesel, perlu dikembangkan biofuel berupa senyawa hidrokarbon. Minyak nabati mengandung asam lemak dan trigliserida, dapat dikonversi menjadi biohidrokarbon melalui reaksi katalitik, menghasilkan biofuel dengan stabilitas oksidasi dan angka setana lebih tinggi dibanding biodiesel esterifikasi-transesterifikasi. Sebagai contoh, minyak nyamplung dikonversi menjadi hidrokarbon C₁₀-C₁₉ melalui hidroproses dengan katalis NiMo/Al₂O₃ pada 375 °C dan tekanan 1 MPa.

Reaksi katalitik ini meningkatkan nilai kalor minyak nyamplung dari 40,5 menjadi 47,9 MJ/kg. Biofuel yang dihasilkan terdiri dari 13,9% bensin, 0,8% kerosin, 47,9% diesel oil, dan 26,3% *fuel oil* (Mansur & Aminuddin, 2020).

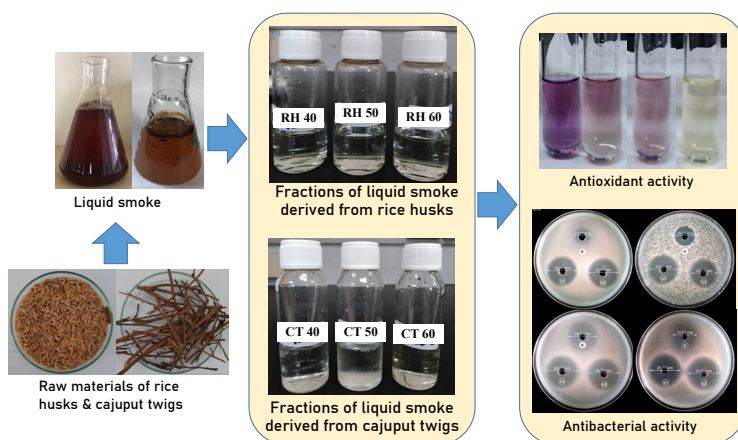
Selain hidrogenasi bertekanan tinggi, minyak nabati juga dapat dikonversi menjadi biohidrokarbon melalui perengkahan katalitik pada tekanan atmosfer menggunakan katalis FCC pada suhu sekitar 510 °C. Pada proses ini, RBD palm oil, telah menghasilkan biofuel dengan fraksi bensin sebesar 31,6% (Mansur et al., 2020).

IV. PROSPEK PEMANFAATAN PRODUK PIROLISIS DAN HIDROTHERMAL LIKUIFAKSI

Pemanfaatan biomassa untuk menghasilkan bahan kimia terbarukan dan biofuel memiliki potensi besar di Indonesia, karena pasokan biomassa yang tersedia sepanjang tahun. Besarnya potensi ini terlihat dari perhitungan data BPS tahun 2024, dimana Indonesia mencatat limbah biomassa dari sektor pertanian dan perkebunan untuk komoditas andalan seperti kelapa sawit, kopi, kakao, karet, dan kelapa dapat mencapai sekitar 248,6 juta ton per tahun (BPS, 2025). Konversi biomassa menjadi produk bernilai tambah dapat mendukung upaya menuju *net zero emission* (NZE), sebagaimana disepakati pada *Paris Agreement* tahun 2015 untuk membatasi kenaikan suhu global hingga 1,5 °C (IRID, 2022). Indonesia menargetkan pencapaian NZE pada tahun 2060 atau lebih cepat, melalui lima strategi utama, yaitu: peningkatan pemanfaatan energi terbarukan, pengurangan ketergantungan energi fosil, penggunaan kendaraan listrik, elektrifikasi sektor rumah tangga dan industri, serta penerapan teknologi *carbon capture and storage* (CCS) (Pribadi, 2021).

Dalam rangka mengurangi ketergantungan pada energi fosil, produk hasil dari proses pirolisis dan hidrotermal likuifaksi (HTL) dapat dimanfaatkan di berbagai sektor. Produk hasil proses pirolisis biomassa lignoselulosa memiliki beragam potensi aplikasi. Asap cair hasil proses pirolisis biomassa mengandung berbagai senyawa kimia terbarukan, seperti asam asetat (65%), metanol (25,2%), hidroksiaseton (22%), 2-metoksi-fenol (22%), fenol (20%), dan furfural (20%) (Rahmawati et al., 2022), (Mansur et al., 2021), yang masing-

masing memiliki karakteristik fungsional dan potensi aplikasi yang luas. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut menjadikan asap cair sebagai bahan antara (*intermediate*) potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri kimia, seperti dalam produksi pelarut, resin, antiseptik, serta bahan dasar pembuatan plastik dan farmasi.



Sumber: (Sugiwati et al., 2022), (Mansur et al., 2021)

Gambar 4.1 Uji aktivitas antioksidan dan antibakteri terhadap fraksi asap cair setelah distilasi

Asap cair dari pirolisis biomassa mengandung senyawa fenolik yang memiliki aktivitas antioksidan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Asap cair yang berasal dari sekam padi dan ranting kayu putih yang sudah dimurnikan mengandung aktivitas penangkalan radikal bebas DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) tertinggi dengan nilai IC_{50} masing-masing sebesar 26,07 ppm dan 33,80 ppm. Nilai IC_{50} tersebut tergolong antioksidan kuat, sehingga asap cair berpotensi dikembangkan sebagai bahan pengawet pangan alami (Sugiwati et al., 2022).

Asap cair juga mengandung asam asetat yang berfungsi sebagai antibakteri. Aktivitas antibakteri fraksi asap cair yang berasal dari ranting kayu putih dan sekam padi diuji terhadap bakteri Gram positif (*Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis*, dan *Staphylococcus aureus*) dan bakteri Gram negatif (*Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*). Keenam bakteri ini diketahui sebagai penyebab pembusukan makanan dan infeksi bawaan makanan pada manusia. Pengujian ini telah membuktikan bahwa asap cair dapat menghambat pertumbuhan ke-enam bakteri patogen tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Oleh karena itu, asap cair dapat diaplikasikan di masa depan sebagai bahan pengawet makanan seperti ikan dan daging yang rentan mengalami kerusakan (Mansur et al., 2021).

Asap cair juga mempunyai efek terapeutik dalam mempercepat penyembuhan luka. Uji topikal asap cair dari batok kelapa yang dimurnikan melalui distilasi pada suhu 120–150 °C diujikan pada luka di rongga mulut tikus dan menunjukkan efek penyembuhan yang lebih cepat. Hal ini karena asap cair mengandung senyawa fenolik seperti fenol, guaiakol, dan 2-metoksi-5-metilfenol (2-EMP) yang berperan sebagai antioksidan yang mengikat spesies oksigen reaktif, menghambat perubahan sel, serta merangsang pertumbuhan fibroblas untuk regenerasi jaringan dengan mekanisme yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 (Surboy et al., 2019; Surboy, Ernawati, et al., 2021; Surboy, Mahdani, et al., 2021). Untuk mempermudah aplikasi asap cair pada rongga mulut, maka asap cair diformulasikan untuk menghasilkan *oral thin film* (OTF). OTF ini dibuat dengan metoda *solvent casting* dengan menambahkan 30% asap cair hasil distilasi ke dalam campuran polimer hidroksipropil metilselulosa (HPMC) dan *plastisizer* sorbitol. OTF dengan bahan HPMC-sorbitol yang mengandung asap cair dari batok kelapa efektif sebagai sistem

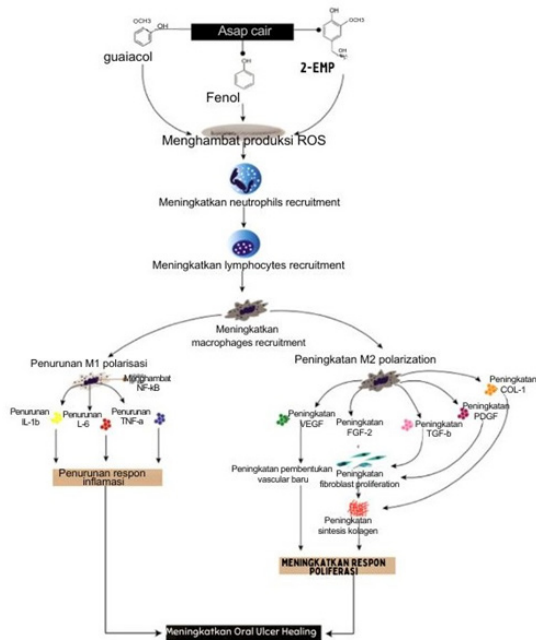
penghantaran untuk pengobatan luka oral. Mekanisme pelepasan zat aktif yang terkontrol, dosis yang tepat, dan karakteristik lapisan pelindungnya berkontribusi pada peningkatan hasil terapi, memposisikannya sebagai kandidat yang menjanjikan untuk pengembangan lebih lanjut dalam pengobatan luka oral guna meningkatkan kesehatan manusia (Surboyono et al., 2024). Oleh karena itu, asap cair memiliki potensi aplikasi di bidang kesehatan.

Aplikasi bio-oil sebagai bahan bakar cair pada mesin diesel atau mesin berbahan bakar bensin dapat dilakukan melalui pencampuran dengan bahan bakar fosil komersial sebelum diterapkan secara penuh pada skala industri. Pendekatan ini dapat mempercepat adopsi teknologi pirolisis dalam sistem energi yang sudah ada.

Pencampuran bio-oil hasil ko-pirolisis biomasa dan polistiren dengan *heavy oil* (HSFO) sebagai bahan bakar kapal bertonase besar telah dianalisis untuk mengetahui sifat-sifat bahan bakar campuran yang dihasilkan. Pencampuran 5-10% bio-oil ke dalam HSFO menghasilkan bahan bakar campuran yang masih memenuhi spesifikasi standar bahan bakar transportasi laut serta dapat menurunkan kandungan sulfurnya. Selain itu, karena bio-oil mempunyai viskositas yang lebih rendah, bahan bakar campuran tersebut membutuhkan energi pemanasan yang lebih sedikit sebelum masuk ke ruang bakar mesin, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar (Mansur et al., 2024).

Bio-oil yang berasal dari ko-pirolisis campuran 10% pelepah kelapa sawit dengan 90% polistiren didistilasi untuk mendapatkan fraksi ringan setara bensin. Fraksi ringan tersebut mengandung senyawa monoaromatik hidrokarbon seperti stirena, etil benzena, alfa-metilstirena, 2-propenil-benzena,

1-metiletil-benzena, indena, dan benzaldehida. Pencampuran 5% fraksi ringan ini dengan 95% bensin RON 90, menghasilkan bensin campuran yang mempunyai RON 91,5. Jadi fraksi bio-oil yang dihasilkan dari proses ko-pirolisis tersebut dapat meningkatkan nilai oktan dari bensin (Mansur, 2025).



Sumber: Surboyo, Ernawati, et al., 2021

Gambar 4.2 Pengaruh fenol, guaiakol, dan 2-metoksi-5-metilfenol (2-EMP) dalam proses regenerasi jaringan untuk penyembuhan luka

Proses HTL yang merupakan teknologi termokimia untuk mengkonversi biomassa basah, menghasilkan 10-40% produk cair (tergantung jenis biomassa) yang mengandung senyawa

keton alifatik, ester (seperti etil asetat, etil levulinat), asam karboksilat (seperti asam asetat, asam propionat), aldehid, keton siklik, etanol, fenol, serta benzena sebagai bahan kimia terbarukan.

Proses pirolisis dan HTL juga menghasilkan biochar yang dapat dijadikan prekursor karbon aktif untuk aplikasi filtrasi atau adsorpsi. Biochar juga bisa dimanfaatkan sebagai pembenah tanah yang dalam konsep mitigasi perubahan iklim mendukung teknologi *carbon capture and storage* (CCS). Hal ini karena biochar sebagai penyimpan karbon yang efektif karena sifatnya yang stabil di dalam tanah selama ratusan tahun. Dalam bidang industri, biochar dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk pembuatan elektroda pada perangkat penyimpanan energi seperti baterai, kapasitor, dan *fuel cell*. Biochar juga dapat digunakan sebagai katalis heterogen dan pendukung katalis (*catalyst support*) karena strukturnya yang berpori dan stabil secara kimia. Pada industri bioteknologi biochar bisa digunakan sebagai media imobilisasi mikroba atau enzim untuk meningkatkan efisiensi proses. Sedangkan pada industri farmasi biochar farmasetik berfungsi sebagai bahan aktif untuk adsorben racun pada saluran pencernaan.

Produk gas yang dihasilkan dari proses pirolisis berkisar antara 4,27–11,22% (Hauli et al., 2024; Mansur et al., 2025) yang umumnya mengandung karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), hidrogen (H₂), serta berbagai senyawa hidrokarbon ringan dengan rantai karbon C₂ hingga C₄. Gas-gas ini memiliki nilai kalor yang cukup tinggi sehingga berpotensi disirkulasikan kembali ke dalam sistem pirolisis sebagai media pemanas internal yang dapat mengurangi kebutuhan energi eksternal.

V. KESIMPULAN

Optimalisasi teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi dalam menghasilkan senyawa kimia terbarukan serta biofuel dari biomassa terus mengalami perkembangan. Hal ini seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber energi dan bahan kimia alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pada masa lampau, senyawa kimia yang dihasilkan dari biomassa kayu adalah asam asetat, metanol, dan aseton melalui proses *wood distillation*. Dengan kemajuan teknologi, istilah *wood distillation* sudah berubah menjadi pirolisis yang dapat mengolah berbagai biomassa limbah perkebunan dan pertanian menjadi senyawa kimia yang lebih bervariasi. Asap cair yang dihasilkan dari proses pirolisis lambat biomassa lignoselulosa limbah perkebunan dan pertanian dapat menghasilkan asam asetat (65%), metanol (25,2%), hidroksiaseton (22%), 2-metoksi-fenol (22%), fenol (20%), dan furfural (20%). Senyawa kimia terbarukan ini merupakan bahan baku bagi industri farmasi, kosmetik, pelarut, dan polimer.

Asap cair yang dihasilkan dari pirolisis lambat biomassa lignoselulosa dengan yield rata-rata sekitar 30-40%, mempunyai aktivitas antimikroba dan antioksidan yang tinggi karena kandungan asam asetat dan senyawa fenolik. Asap cair yang telah dimurnikan untuk mengurangi kandungan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) yang bersifat karsinogen, dapat diaplikasikan pada bidang makanan dan kesehatan. Pada bidang makanan, asap cair berpotensi besar sebagai pengawet makanan alami. Sekitar 5% asap cair diformulasikan menjadi *edible*

coating dan *edible film* untuk memperpanjang masa simpan bahan pangan. Oleh karena itu asap cair dapat menjadi alternatif untuk menggantikan bahan pengawet sintetis.

Dalam bidang kesehatan, asap cair dapat mempercepat penyembuhan luka. Adanya kandungan senyawa fenolik, seperti fenol, guaiakol, dan 2-metoksi-5-metilfenol, yang berperan sebagai antioksidan kuat sekaligus merangsang regenerasi sel dan pembentukan jaringan baru pada area kulit yang mengalami kerusakan. 30% asap cair telah diformulasikan untuk menghasilkan biofilm yang memudahkan dalam menempelkannya ke bekas luka. Oleh karena itu, pemanfaatan asap cair dari biomassa membuka peluang dalam pengembangan produk farmasi dalam era kesadaran lingkungan seperti saat ini.

Pirolisis lambat juga dapat mengkonversi biomassa lignoselulosa menjadi sekitar 10% biofuel berupa bio-oil. Peningkatan kapasitas dan kualitas bio-oil dapat dimodifikasi melalui teknologi ko-pirolisis yang mencampurkan biomassa dengan limbah plastik. Pencampuran biomassa pelepah sawit dengan limbah plastik (jenis polistiren) menghasilkan sekitar 65% bio-oil yang mengandung 50% bensin dan 10% diesel oil dengan nilai kalor 40 MJ/kg yang setara dengan bahan bakar fosil. Penggunaan bio-oil ini dapat dicampurkan sekitar 5-10% dengan bahan bakar fosil sehingga menghasilkan bahan bakar campuran yang masih sesuai dengan spesifikasi penggunaanya.

Kemajuan teknologi termokimia, selain limbah kering biomassa perkebunan dan pertanian, limbah cair dengan kandungan air tinggi seperti sisa fermentasi dan *black liquor* dari proses pembuatan bioetanol juga dapat dikonversi menjadi bahan kimia. Limbah ini dapat menghasilkan etanol tambahan dan fenol yang menjadikan proses produksi bioetanol secara keseluruhan lebih bernilai tambah.

VI. PENUTUP

Teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi merupakan metoda yang cepat untuk mengkonversi biomassa menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel. Secara keseluruhan, produk yang dihasilkan memiliki potensi strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Jika pada masa mendatang dapat diproduksi dalam skala yang lebih besar, teknologi ini berpeluang mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, serta mengoptimalkan pemanfaatan limbah biomassa.

Pemanfaatan hasil optimalisasi teknologi pirolisis dan HTL menghasilkan senyawa kimia terbarukan dan biofuel terus dikembangkan tidak hanya biomassa darat tetapi juga akan diuji coba terhadap rumput laut yang masih terbatas penelitiannya. Selain itu, mendalami pemanfaatan biochar di bidang kimia masih menjadi perhatian untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi emisi, dan menekan biaya produksi.

Diharapkan, dengan naskah ini, teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi dapat memberikan wawasan dan kontribusi ilmiah dalam perkembangan ilmu dan pengetahuan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan kimia terbarukan dan biofuel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga orasi ilmiah ini dapat berjalan seperti yang diharapkan.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan saya, dengan segala kerendahan hati, menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Prabowo Subianto, Presiden Republik Indonesia periode 2020-2024, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si., Kepala BRIN Periode 2021-2025 Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian M.Sc., DESD, ASEAN Eng.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.

Terima kasih pula saya sampaikan kepada tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Rike Yudianti, Prof. Dr. Moh. Djaeni, S.T., M.Eng., Prof. Dr. Silvester Tursiloadi, M.Eng, Prof. Dr. Ir. Datin Fatia Umar, MT., dan Prof. Dr. Ing. Andika Widya Pramono M.Sc. atas semua arahan yang diberikan.

Terima kasih saya ucapkan kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia, Ratih Retno Wulandari, S.Sos, M.Si.

Saya mengucapkan terima kasih juga kepada Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material (ORNM), Prof.

Dr. Ratno Nuryadi. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada para Kepala Pusat Penelitian Kimia – LIPI Prof. Dr. L. Broto Sugeng Kardono (alm) (2006-2011), Dr. Linar Zalinar Udin, M.Si (2011-2015), Prof. Dr. Eng. Agus Haryono (2015-2018), Dr. R. Arthur Ario Lelono (2018-2019), Kepala Pusat Riset Kimia BRIN Prof. Dr. Yenny Meliana, M.Si. (2020-2025), Plt. Kepala Pusat Riset Kimia Molekuler Prof. Roni Maryana, M.Si (2025), Plt. Kepala Pusat Riset Katalisis Dr. Osi Arutanti, M.Sc (2025), dan Prof. Dr. Nurul Taufiqu Rochman M.Eng. atas dorongan moralnya.

Ucapan terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada para guru dan dosen yang telah mendidik dan mengajari saya, antara lain Pembimbing D3, Dr. Endang Sri Rahayu, MT. dan Dra. Endang Widiastuti M.Si. (Politeknik Negeri Bandung); Pembimbing S1, Prof. Dr. Ir. Bakti Jos, DEA, Ir. Marimin Soemardjo, dan Ir. Diah Susetyo Retnowati, MT. (Universitas Diponegoro); Pembimbing S2, Prof. Jun-ichiro Hayashi (Hokkaido University), pembimbing S3, Prof. Takao Masuda dan Prof. Teruoki Tago (Hokkaido University).

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada peneliti kelompok riset senyawa kimia bio dan adi: Prof. Dr. Yanni Sudiyani, M.Agr., Prof. Dr. Roni Maryana, M.Sc., Dr. Sri Sugiwati, M.Si., Dr. Muryanto, Dr. Latifah Hauli, Dr. Vivi Sisca, Eka Triwahyuni, M.Sc., T. Beuna Bardant, M.Sc. Teman sejawat di Organisasi Riset Energi dan Manufaktur: Dr. Nabila Aprianti, Dr. Hari Setiapraja, Siti Yubaidah, M.Si., Dr. Verina Wargadalam, Dr. Wawat Rodiyah, Dr. Saepurahman, Oni Fariza, M.Si., Aminuddin S.T. Teman peneliti dari Organisasi Riset Pertanian dan Pangan: Dr. Hera Desvita, Wahyu Anggo Rizal, dan Ria Suryani. Kolega peneliti di Universitas Airlangga: Meircurius Dwi Condro Surboyo, drg., M.Kes DDS., MS., Prof.

Dr. Ira Arundina, drg., M.Si., PBO, dan Prof. Dr. Diah Savitri E., drg., M.Si., Sp.PM(K) dan para peneliti di Pusat Riset Kimia: Prof. Dr. Nina Artanti, M.Sc., Prof. Anny Sulaswatty, M.Agr., Prof. Dr. Siti Nurul Aisyiyah Jenie (almh), Dr. Egi Egustian, Dr. Osi Arutanti M.Sc., Dr. Nino Rinaldi, Dr. Sabar Pangihutan Simanungkalit, Dr. Yuliza Hanifah, dan peneliti sejawat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya, bapak Mansur (Alm.) dan ibu Uti, suami saya, Dr. Toto, M.Eng., serta anak kami Davin atas dukungan selama ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan untuk seluruh undangan, rekan-rekan peneliti dan perekayasa di Badan Riset dan Inovasi Nasional, serta semua pihak yang telah membantu sehingga saya dapat melaksanakan orasi ini. Oleh karena itu, perkenalkanlah saya untuk memohon maaf atas segala kekurangan dan kekhilafan dalam penyampaian orasi ini.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah rabbil `aalamiin, saya akhiri penyampaian orasi ilmiah ini. Wabillahi taufiq wal hidayah. Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, A., Farobie, O., Irawansyah, H., Ghofur, A., Ernawati, L., & Misbahuddin. (2024). Optimization of bio-oil blends in gasoline engines for enhanced efficiency and emissions reduction: A response surface methodology approach. *Results in Engineering*, 24, 103531. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103531>
- Bao, R., Wang, S., Feng, J., Duan, Y., Liu, K., Zhao, J., Liu, H., & Yang, J. (2024). A review of hydrothermal biomass liquefaction: Operating parameters, reaction mechanism, and bio-oil yields and compositions. *Energy and Fuels*, 38(10), 8437–8459. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c00240>
- BPS. (2025). *Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia (Kelapa sawit, Kopi, Kakao, Karet, Teh, dan Komoditas Perkebunan Unggulan)* (Vol. 1). <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/08/29/8d2a6ab3510f9828daf73191/statistik-tanaman-perkebunan-tahunan-indonesia-2024--kelapa-sawit--kopi--kakao--karet--teh--dan-komoditas-perkebunan-unggulan-.html>
- Devi, M., & Rawat, S. (2021). A comprehensive review of the pyrolysis process: From carbon nanomaterial synthesis to waste treatment. *Oxford Open Materials Science*, 1(1), 1–30. <https://doi.org/10.1093/oxfmat/itab014>
- Elgarahy, A. M., Hammad, A., El-Sherif, D. M., Abouzid, M., Gaballah, M. S., & Elwakeel, K. Z. (2021). Thermochemical conversion strategies of biomass to biofuels, techno-economic and bibliometric analysis: A conceptual review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106503>

- Elhassan, M., Abdullah, R., Raziq, M., Kooh, R., & Chau, Y. C. (2023). Hydrothermal liquefaction: A technological review on reactor design and operating parameters. *Bioresorce Technology Reports*, 21(November 2022), 101314.
- Fahmy, T. Y. A., Fahmy, Y., Mobarak, F., El-Sakhawy, M., & Abou-Zeid, R. E. (2020). Biomass pyrolysis: past, present, and future. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 17–32. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0200-5>
- Garcia-Nunez, J. A., Pelaez-Samaniego, M. R., Garcia-Perez, M. E., Fonts, I., Abrego, J., Westerhof, R. J. M., & Garcia-Perez, M. (2017). Historical Developments of Pyrolysis Reactors: A Review. *Energy and Fuels*, 31(6), 5751–5775. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b00641>
- Grande, L., Pedroarena, I., Korili, S. A., & Gil, A. (2021). Hydrothermal liquefaction of biomass as one of the most promising alternatives for the synthesis of advanced liquid biofuels: A review. *Materials*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/ma14185286>
- Hauli, L., **Mansur, D.**, Saepurahman, & Aminuddin. (2024). Insight into catalytic pyrolysis of palm fronds over MFI, BEA, and FAU framework types of zeolite extrudate. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(0123456789), 19203–19214. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04092-1>
- Hidayat, M. R. (2013). Teknologi pretreatment bahan lignoselulosa dalam proses produksi bioetanol. In *Biopropal Industri*.
- IRID. (2022). *Mengenal Net-Zero Emission* (pp. 1–12). Indonesia Research Institute for Decarbonization. https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission_SPREADS.pdf
- Jha, S., Nanda, S., Acharya, B., & Dalai, A. K. (2022). A review of thermochemical conversion of waste biomass to biofuels. *Energies*, 15, 6352. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15176352>

- Mansur, D.** (2025). *P00202505474: Komposisi zat aditif penambah oktan bensin dan metode pembuatannya serta aplikasinya.*
- Mansur, D., & Aminuddin.** (2020). Chemical conversion of Calophyllum inophyllum oil into bio-hydrocarbons fuel over presulfided NiMo/Al₂O₃ catalyst. *International Journal of Energy Research*, 44(9), 7746–7760. <https://doi.org/10.1002/er.5506>
- Mansur, D., Aminuddin, A., & Wargadalam, V. J.** (2020). Production of bio-hydrocarbon from refined-bleach-deodorized palm oil using micro activity test reactor. *Reaktor*, 20(2), 75–80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.20.2.75-80>
- Mansur, D., Aminuddin, Setiaprja, H., Yubaidah, S., Ramdani, D., Fariza, O., Rizal, W. A., Supriadi, E., & Hauli, L.** (2023). *P00202314353. Metode untuk memproduksi bahan bakar campuran minyak pirolisis dengan marine fuel oil dan produk yang dihasilkannya (P00202314353).*
- Mansur, D., Aminuddin, & Yubaidah, S.** (2025). Valorization of waste polystyrene and palm biomass via co-pyrolysis for gasoline-range fuel production supporting low-carbon transition. *Journal of the Indian Chemical Society*, 102(10), 102025. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2025.102025>
- Mansur, D., Debora, E., Saepurahman, Hauli, L., Prasetyo, W. D., & Aminuddin.** (2023). Comparative study of thermal and catalytic pyrolysis of palm fronds over BEA zeolites extrudate. *AIP Conf. Proc.*, 040007, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0173140>
- Mansur, D., Fariza, O., & Yubaidah, S.** (2023). *P00202311451. Metode untuk memproduksi bio-oil dan arang melalui proses ko-pirolisis pelepah sawit dan styrofoam (limbah polistiren) serta produk yang dihasilkannya (P00202311451).*

- Mansur, D.**, Fitriady, M. A., Setiaprja, H., Paryanto, I., Haspriyanti, N., Dela, N., & Gozan, M. (2019). Precipitation study of B30 blended from FAME and/or HVO and petro diesel fuel. *SAE Technical Papers, December*. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2190>
- Mansur, D.**, Muryanto, & Irawan, Y. (2019). *Proses produksi senyawa fenol dari lindi hitam dan produk yang dihasilkannya* (P002019r1822). <https://intipdaqu.brin.go.id/proses-hki/show/MIG-2019-1650216336.9776>
- Mansur, D.**, Rahayu, E. P., Fitriady, M. A., & Simanungkalit, S. P. (2022). Hydrodeoxygenation of palm kernel shells derived bio-oil using supported Ru and Pd catalysts. In *ChemistrySelect* (Vol. 7, Issue 10). <https://doi.org/10.1002/slct.202102436>
- Mansur, D.**, Setiaprja, H., Fariza, O., & Yubaidah, S. (2024). Clean marine fuel: Integration of co-pyrolysis oil with high- sulfur fuel oil. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 11(04), 2959–2968.
- Mansur, D.**, Shimokawa, M., Oba, K., Nakasaka, Y., Tago, T., & Masuda, T. (2013). Conversion of ethanol fermentation stillage into aliphatic ketones by two-step process of hydrothermal treatment and catalytic reaction. *Fuel Processing Technology*, 108, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.05.026>
- Mansur, D.**, & Simanungkalit, S. P. (2018). Identification of compounds released during pyrolysis of palm kernel shell (PKS) using pyrolysis-GC/MS. *Reaktor*, 17(4), 185–190. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14710/ reaktor.17.4.185-190>
- Mansur, D.**, Simanungkalit, S. P., Fitriady, M. A., & Safitri, D. (2018). Liquefaction of plastic for fuel production and application of volcanic ash as catalyst. *AIP Conference Proceedings*, 2024(2018). <https://doi.org/10.1063/1.5064287>

- Mansur, D.,** Simanungkalit, S. P., Rinaldi, N., & Abimanyu, H. (2016). Hydrothermal liquefaction of black liquor into platform chemicals. *Teknologi Indonesia*, 39(1), 29–35.
- Mansur, D.,** Sugiwati, S., Rizal, W. A., Suryani, R., & Maryana, R. (2021). Pyrolysis of cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks to produce liquid smoke-containing fine chemicals for antibacterial agent application. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 21(0123456789), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01896-x>
- Mansur, D.,** Tago, T., & Masuda, T. (2017). *Utilization of DDGS using ethanol solution for biocrude oil production by hydrothermal liquefaction*. 7269(January). <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1266236>
- Mansur, D.,** Tago, T., Masuda, T., & Abimanyu, H. (2014). Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. *Biomass and Bioenergy*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.065>
- Mansur, D.,** Yoshikawa, T., Norinaga, K., Hayashi, J.-I., Tago, T., & Masuda, T. (2013). Production of ketones from pyrolygneous acid of woody biomass pyrolysis over an iron-oxide catalyst. *Fuel*, 103, 130–134. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.04.003>
- Mathanker, A., Das, S., Pudasainee, D., Khan, M., Kumar, A., & Gupta, R. (2021). A review of hydrothermal liquefaction of biomass for biofuels production with a special focus on the effect of process parameters, co-solvents, and extraction solvents. *Energies*, 14(4916), 1–54.
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels*, 20(4), 848–889. <https://doi.org/10.1021/ef0502397> CCC:

- Pahnla, M., Koskela, A., Sulasalmi, P., & Fabritius, T. (2023). A review of pyrolysis technologies and the effect of process parameters on biocarbon properties. *Energies*, 16, 6936. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16196936>
- Pribadi, A. (2021). Ini prinsip dan peta jalan pemerintah capai net zero emission. In *Kementerian ESDM RI* (p. 1). <https://esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-prinsip-dan-peta-jalan-pemerintah-capai-net-zero-emission>
- Putri, A., Takahasi, D., **Mansur, D.**, & Dwi, W. (2025). Optimization of liquid fuel production from co-pyrolysis of oil palm fronds and expanded polystyrene using response surface methodology. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11(October 2024), 101074. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101074>
- Rahimi, Z., Anand, A., & Gautam, S. (2022). An overview on thermochemical conversion and potential evaluation of biofuels derived from agricultural wastes. *Energy Nexus*, 7(March). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100125>
- Rahmawati, D., **Mansur, D.**, Sulaswatty, A., & Diastuti, H. (2022). Conversion of cardamom by-product into liquid smoke and biochar by pyrolysis. *Malaysian Journal of Chemistry*, 24(2), 293–301. <https://doi.org/10.55373/mjchem.v24i2.293>
- Ranjbar, S., & Malcata, F. X. (2023). Hydrothermal liquefaction: How the holistic approach by nature will help solve the environmental conundrum. *Molecules*, 28(8127), 1–26.
- Reksowardojo, I. K., Setiaprada, H., Mokhtar, Yubaidah, S., **Mansur, D.**, & Putri, A. K. (2023). A Study on Utilization of High-Ratio Biodiesel and Pure Biodiesel in Advanced Vehicle Technologies. *Energies*, 16(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/en16020718>
- Ronsse, F., Nachenius, R. W., & Prins, W. (2015). Carbonization of Biomass. In *Recent Advances in Thermochemical Conversion of Biomass*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63289-0.00011-9>

- Sanahuja-Parejo, O., Veses, A., Navarro, M. V., López, J. M., Murillo, R., Callén, M. S., & García, T. (2019). Drop-in biofuels from the co-pyrolysis of grape seeds and polystyrene. *Chemical Engineering Journal*, 377, 120246. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.183>
- Simanungkalit, S. P., & **Mansur, D.** (2020). Co-Pyrolysis Cangkang Kelapa Sawit Dan Limbah Plastik Kemasan. *Widyariset*, 6(2), 62. <https://doi.org/10.14203/widyariset.6.2.2020.62-74>
- Simanungkalit, S. P., **Mansur, D.**, & Fitriady, A. (2016). Hydrothermal liquefaction limbah distilasi bioetanol generasi-2. *Reaktor*, 16(2), 49–56. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.2.49-56> 49
- Simanungkalit, S. P., **Mansur, D.**, Rinaldi, N., & Widjaya, R. R. (2015). Utilization of distillation residue of 2nd generation bioethanol for fine chemicals production. *Procedia Chemistry*, 16, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.011>
- Sugiwati, S., **Mansur, D.**, Rizal, W. A., & Suryani, R. (2022). Antioxidant activity of liquid smoke fractions from cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks. *AIP Conference Proceedings*, 2493(070026), 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0115927>
- Surboyoy, M. D. C., Arundina, I., Rahayu, R. P., **Mansur, D.**, & Bramantoro, T. (2019). Potential of distilled liquid smoke derived from coconut (*Cocos nucifera* L) shell for traumatic ulcer healing in diabetic rats. *European Journal of Dentistry*, 13(2), 271–279. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1693527>
- Surboyoy, M. D. C., Ernawati, D. S., Arundina, I., **Mansur, D.**, Iskandar, B., Santosh, A. B. R., Anggrarista, K. A. N., Cecilia, P. H., & Nagoro, A. A. B. (2021). The potential of liquid smoke as an oral ulcer remedies: A proposed mechanism based on systematic review. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, 9(6), 905–920. https://doi.org/10.56499/jppres21.1107_9.6.905

- Surboyo, M. D. C., Mahdani, F. Y., Ayuningtas, N. F., Santosh, A. B. R., Ernawati, D. S., **Mansur, D.**, Arundina, I., Nagoro, A. A. B., & Rahmadhany, I. P. (2021). The cytotoxicity, anti-inflammation, anti-nociceptive and oral ulcer healing properties of coconut shell liquid smoke. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 10(4), 459–467. <https://doi.org/10.34172/jhp.2021.53>
- Surboyo, M. D. C., **Mansur, D.**, Kuntari, W. L., Syahnia, S. J. M. R., Iskandar, B., Arundina, I., Liu, T. W., Lee, C. K., & Ernawati, D. S. (2024). The hydroxypropyl methylcellulose-sorbitol thin film containing a coconut shell of liquid smoke for treating oral ulcer. *JCIS Open*, 15(May), 100119. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100119>
- Tanger, P., Field, J. L., Jahn, C. E., DeFoort, M. W., & Leach, J. E. (2013). Biomass for thermochemical conversion: Targets and challenges. *Frontiers in Plant Science*, 4(JUL), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00218>
- Zou, K., Gao, A., Huang, Y., Ding, K., Kozlov, A. N., Penzik, M. V., Hu, X., & Zhang, S. (2025). Volatile–char interactions during biomass pyrolysis: Pilot-scale regulation and engine application of light bio-oils. *Renewable Energy*, 243, 122581. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122581>
- Zuas, O., Budiman, H., **Mansur, D.**, & Mulyana, M. R. (2018). Measurement of HDO products using GC-TCD: Towards obtaining reliable analytical data. *Catalysis for Sustainable Energy*, 5, 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/cse-2018-0001>

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

- | | |
|------------------------------|---------|
| 1. Bagian dari Buku Nasional | 4 buah |
| 2. Jurnal Internasional | 27 buah |
| 3. Jurnal Nasional | 16 buah |
| 4. Prosiding Internasional | 18 buah |
| 5. Prosiding Nasional | 2 buah |

Kekayaan Intelektual

- | | |
|-------------------|---------|
| 6. Paten Nasional | |
| a. Terdaftar | 20 buah |
| b. Tersertifikasi | 4 buah |

Karya Tulis Ilmiah

Bagian dari Buku Nasional

1. Rinaldi N, **Mansur D**, Simanungkalit SP. Bab VIII Teknologi Pendukung Produksi Bahan Baku Biohidrokarbon. In: Soerawidjaja TH, Kusdiana D. editor. Peta Jalan Litbang Bahan Bakar Nabati: Menuju Mandiri Energi. IPB Press; 2015. 205-224.
2. **Mansur D**, Simanungkalit SP, Aiman S. Proses Gasifikasi – Fermentasi Gas Sintesis untuk Produksi Bioetanol. In: Sudiyani Y, Aiman S, Mansur D, editor. Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif. LIPI Press; 2019. 157-186.

3. Sari AA, Puteri AMH, **Mansur D**, Burhani D, Muryanto. Pemanfaatan Sisa Proses Produksi Bioetanol Generasi Dua. In: Sudiyani Y, Aiman S, Mansur D, editor. Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif. LIPI Press; 2019. 217-254.
4. **Mansur D**, Aiman S. Bioetanol Generasi Dua sebagai Bahan Bakar. In: Sudiyani Y, Aiman S, Mansur D, editor. Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif. LIPI Press; 2019. 299-308.

Jurnal Internasional

5. **Mansur D**, Yoshikawa T, Norinaga K, Hayashi J-i, Tago T, Masuda T. Production of ketones from pyrolygneous acid of woody biomass pyrolysis over an iron-oxide catalyst. Fuel 2013; 103: 130 - 134. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.04.003>
6. **Mansur D**, Shimokawa M, Oba K, Nakasaka Y, Tago T, Masuda T. Conversion of ethanol fermentation stillage into aliphatic ketones by two-step process of hydrothermal treatment and catalytic reaction. Fuel Processing Technology 2013; 108: 139 -145. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.05.026>
7. **Mansur D**, Tago T, Masuda T, Abimanyu H. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. Biomass and Bioenergy 2014; 66: 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.065>
8. Suratno, Rachma Puspitasari, Triyoni Purbonegoro, **Mansur D**. Copper and cadmium toxicity to marine phytoplankton, *Chaetoceros gracilis* and *Isochrysis* sp. Indonesian Journal of Chemistry 2015; 15 (2): 172 – 178. <https://doi.org/10.22146/ijc.21211>
9. **Mansur D**, Tago T, Masuda T. Utilization of DDGS using ethanol solution for biocrude oil production by hydrothermal

liquefaction. *Biofuels* 2018; 9 (3): 325-330.

<https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1266236>

10. Zuas O, Budiman H, **Mansur D**, Mulyana MR. Measurement of HDO Products using GC-TCD: Towards Obtaining Reliable Analytical Data. *Catalysis for Sustainable Energy* 2018; 5 (1): 1-11. <https://doi.org/10.1515/cse-2018-0001>
11. Surboyo MDC, Arundina I, Rahayu RP, **Mansur D**, Bramantoro T. Potential of distilled liquid smoke derived from coconut (*Cocos nucifera* L) shell for traumatic ulcer healing in diabetic rats. *European Journal of Dentistry* 2019; 13 (02): 271-279. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1693527>
12. **Mansur D**, Fitriady MA, Setiaprja H, Paryanto I, Haspriyanti N, Dela N, Gozan M. Precipitation study of B30 blended from FAME and/or HVO and Petro Diesel Fuel. *SAE Technical Paper* 2019; 2019-01-2190. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2190>
13. **Mansur D**, Aminuddin. Chemical conversion of Calophyllum inophyllum oil into bio-hydrocarbons fuel over presulfided NiMo/Al₂O₃ catalyst. *International Journal of Energy Research* 2020; 44 (9): 7746-7760. <https://doi.org/10.1002/er.5506>
14. Nurdin M, Abimanyu H, Haris A, Maulidiyah M, Fitriady MA, **Mansur D**, Arham Z, Wibowo D, Salim LOA. Effectiveness of green chemical solvent-based on triethylammonium methanesulfonate ion liquid for the OPEFB pretreatment process. *Journal of Oleo Science* 2021;70 (10): 1509-1515. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21161>
15. Surboyo MDC, Mahdani FY, Ayuningtyas NF, Santosh ABR, Ernawati DS, **Mansur D**, Arundina I, Nagoro AAB, Rahmadhany IP. The cytotoxicity, anti-inflammation, anti-nociceptive and oral ulcer healing properties of coconut shell

- liquid smoke. *J Herbmmed Pharmacol* 2021; 10 (4): 459-467. <https://doi.org/10.34172/jhp.2021.53>
16. Surboyo MDC, Ernawati DS, Arundina I, **Mansur D**, Iskandar B, Santosh ABR, Anggrarista KAN, Cecilia PH, Nagoro AAB. The potential of liquid smoke as an oral ulcer remedies: a proposed mechanism based on systematic review. *J Pharm Pharmacogn Res* 2021; 9 (6): 905-920. <http://jppres.com/jppres>
 17. **Mansur D**, Rahayu EP, Fitriady MA, Simanungkalit SP. Hydrodeoxygenation of palm kernel shells derived bio-oil using supported Ru and Pd catalysts. *ChemistrySelect* 2022; 7 (10): e202102436. <https://doi.org/10.1002/slct.202102436>
 18. Rahmawati D, **Mansur D**, Sulaswatty A, Diastuti H. Conversion of cardamom by-product into liquid smoke and biochar by pyrolysis. *Malaysian Journal of Chemistry* 2022; 24(2): 293-301.
 19. Hauli L, **Mansur D**, Saepurahman, Aminuddin. Insight into catalytic pyrolysis of palm fronds over MFI, BEA, and FAU framework types of zeolite extrudate. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04092-1>
 20. Reksowardojo IK, Setiaprada H, Mokhtar, Yubaidah S, **Mansur D**, Putri AK. A study on utilization of high-ratio biodiesel and pure biodiesel in advanced vehicle technologies. *Energies* 2023; 16: 718. <https://doi.org/10.3390/en16020718>
 21. **Mansur D**, Sugiwati, Rizal WA, Suryani R, Maryana R. Pyrolysis of cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks to produce liquid smoke-containing fine chemicals for antibacterial agent application. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2023; 13: 10561-10574. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01896-x>

22. Surboyo MDC, Baroutian S, Puspitasari W, Zubaidah U, Cecilia PH, **Mansur D**, Iskandar B, Ayuningtyas NF, Mahdani FY, Ernawati DS. Health benefits of liquid smoke from various biomass sources: a systematic review. *BIO Integration* 2024; 5(35): 1-19. <https://doi.org/10.15212/bioi-2024-0083>
23. Surboyo MDC, **Mansur D**, Kuntari WL, Syahniah SJMR, Iskandar B, Arundina I, Liu T-W, Lee C-K, Ernawati DS. The hydroxypropyl methylcellulose-sorbitol thin film containing a coconut shell of liquid smoke for treating oral ulcer. *JCIS Open* 2024; 15(100119): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100119>
24. Haryono I, Ma'ruf M, Setiaprada H, Fajar R, **Mansur D**. Characterization of palm biodiesel deposit on the locomotive engine fuel filters: Composition, physical, chemical properties. *International Journal of Technology* 2024; 15(6): 1873. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i6.5781>
25. **Mansur D**, Setiaprada H, Fariza O, Yubaidah S. Clean Marine Fuel: Integration of Co-pyrolysis Oil with High-Sulfur Fuel Oil. *Evergreen* 2024 11(4): 2959- 2968. <https://doi.org/10.5109/7326937>
26. Takahasi APD, **Mansur D**, Prasetyo WD, Simanungkalit SP, Purba WLI, Rizal WA, Sarwono A, Iskandar YA. Optimization of liquid fuel production from co-pyrolysis of oil palm fronds and expanded polystyrene using response surface methodology. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2025; 11(101074): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101074>
27. Faisal M, **Mansur D**, Desvita H, Heriansyah MB. Liquid smoke-infused edible coatings: Antimicrobial agents for preserving cherry tomatoes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2025 11(101091): 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101091>

28. Faisal M, Desvita H, Heriansyah MB, Abubakar Y, Djuned FM, **Mansur D**, Ramadhani P, Ariani N, Darmawan A, Mustikasari R, Anwar M, Rizal WA. Chitosan-liquid smoke-based composite coating for extending the shelf life of cherry tomatoes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2025; 11(101155): 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101155>
29. Saputra G, Arundina I, Budhy TI, **Mansur D**, Surboyo MDC, Ming CH, Ramantiasari SM, Moelyanto ASA. Oral thin film containing rice husk liquid smoke effects on the expression of key cytokines and growth factors in a periodontitis model. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 2025; 15(6): 1266-1273. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2025.08.007>
30. **Mansur D**, Aminuddin, Yubaidah S. Valorization of waste polystyrene and palm biomass via co-pyrolysis for gasoline-range fuel production supporting low-carbon transition. *Journal of the Indian Chemical Society* 2025; 102(10): 102025 <https://doi.org/10.1016/j.jics.2025.102025>
31. Pratiwi S, Hauli L, **Mansur D**, Sisca V, Budiman A. Green synthesis of CaO-modified sulfonated biochar via ball milling method. *Vacuum* 2026; 243: 114795. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2025.114795>

Jurnal Nasional

32. **Mansur D**, Nuri Astrini, Tasrif. Sodium Bisulfite as SO₃ Source for Synthesis of Methyl Ester Sulfonate Using RBD Stearin as Raw Material. Diterbitkan pada Jurnal IPTEK, The Journal for Technology and Science 2007; 18 (4). ISSN 0853- 4098, SK 23a/DIKTI/Kep/2004, 4 Juni 2004
33. **Mansur D**, Nuri Astrini, Tasrif, Wuryaningsih S.R. Pembuatan Metil Ester Sulfonat dari Refined Bleached Deodorized Stearin Minyak Sawit Menggunakan Oleum. Diterbitkan pada Jurnal Sains Materi Indonesia (Indonesian Journal of Materials

Science) 2007; 8(3): 220 - 225. ISSN : 1411-1098, SK 39/DIKTI/Kep/2004, 10 Oktober 2004.

34. **Mansur D**, Teruoki Tago. Pengolahan limbah bioetanol dengan cara hydrothermal treatment untuk me-recovery senyawa kimia. Telaah 2013; 31(2): 193-199. No ISSN: 0125-9121. No akreditasi: 522/Akred/P2MI-LIPI/04/2013
35. **Mansur D**, Agus Haryono. Sintesis dan karakterisasi sodium-polistiren sulfonat dan identifikasi penempelan gugus sulfonat dengan metode FT-IR dan NMR. JUSAMI (Jurnal Sains Materi Indonesia) 2014; 16 (1): 36-42. No ISSN: 1411-1098. No akreditasi: 401/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
36. **Mansur D**. Preliminary study of pyrolysis of cacao pod husks and product yields identification. Teknologi Indonesia 2014; 37(2): 83-89. No ISSN: 0126-1533. No Akreditasi: 388/AU2/P2MI/04/2012
37. Yulianti Sampora, **Mansur D**, Agus Haryono. Preparasi dan karakterisasi kopolimer vinil asetat dan asam akrilat –Cu sebagai biosida untuk antifouling. JUSAMI (Jurnal Sains Materi Indonesia) 2014; 15(4): 201-207. No ISSN: 1411-1098. No akreditasi: 401/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
38. Sabar P. Simanungkalit, **Mansur D**, Nino Rinaldi. Simulasi pengaruh ukuran partikel dan equivalence ratio dalam proses gasifikasi tandan kosong kelapa sawit. JKTl 2015; 17(2). ISSN 0853 – 2788. Akreditasi No : 540/AU1/P2MI-LIPI/06/2013.
39. Sri Budi Harmami, **Mansur D**, Agus Haryono. Polimerisas imonomer vinil asetat dengan asam akrilat menggunakan inisiator azobisisobutironitril (aibn) sebagai biosida polimer. JUSAMI (Jurnal Sains Materi Indonesia) 2015; 16(2): 72-75. No ISSN: 1411-1098. No akreditasi: 401/AU2/P2MI-LIPI/04/2012.

40. Sabar P. Simanungkalit, **Mansur D**, M. Arifuddin Fitriady. Hydrothermal liquefaction limbah destilasi bioetanol generasi-2. *Reaktor* 2016; 16(2): 49-56. p-ISSN 0852 – 0798. e-ISSN 2407-5973. Akreditasi SK No : 66b/DIKTI/Kep/2011.
41. **Mansur D**, Sabar P. Simanungkalit, Nino Rinaldi, Haznan Abimanyu. Hydrothermal liquefaction of black liquor into platform chemicals. *JTI* 2016; 39(1): 29-35. ISSN 2303-1913. Akreditasi No : 388/AU2/P2MI-LIPI/04/2012.
42. **Mansur D**, Sabar P. Simanungkalit, Nino Rinaldi. Pemanfaatan Limbah Pretreatment dalam Produksi Bioetanol dari Lignoselulosa untuk Me-Recovery Fine Chemicals dengan Proses Pirolisa. *Reaktor* 2016; 16(1): 17-23. <https://doi.org/10.14710/reaktor.16.1.17-23>
43. Muhammad Arifuddin Fitriady, **Mansur D**, Sabar P. Simanungkalit. Utilization of natural iron ore for catalytic reaction of (Pyroligneous Acid) derived from palm kernel shells. *Widyariset* 2016; 2(2): 118.
44. **Mansur D** and Sabar Pangihutan Simanungkalit Identification of chemicals released during pyrolysis of palm kernel shell using pyrolysis-GC/MS. *Reaktor* 2017; 17 (4). p-ISSN 0852 – 0798. e-ISSN 2407 – 5973.
45. Sabar Pangihutan Simanungkalit, **Mansur D**. Co-Pyrolysis Cangkang Kelapa Sawit dan Limbah Plastik Kemasan. *Widyariset* 2020; 6(2): 62.
46. **Mansur D**, Syahrul Aiman. Keadaan dan prospek butanol lignoselulosa sebagai bahan bakar transportasi darat di Indonesia: sebuah telaahan. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbaru* 2020; 19(1): 29 – 40. P-ISSN 1978 – 2365. E-ISSN 2528 – 1917.
47. **Mansur D**, Aminuddin, Verina J. Wargadalam. Production of bio-hydrocarbon from refined-bleach-deodorized palm oil using

micro activity test reactor. *Reaktor* 2020; 20(2): 75-80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.20.2.75-80>

Prosiding Internasional

48. **Mansur D**, Dewi Sondari, and Agus Haryono. Formation and stability of micro-emulsions using nonionic surfactant and cationic polymer systems. Diterbitkan pada Proceeding of International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2007), Yogyakarta 24-26 Mei 2007. ISBN 1410-8313.
49. Nuri Astrini, **Mansur D**, Agus Haryono and Tasrif. Sulfonation process of palm methyl ester as Anionic surfactant. Diterbitkan pada Proceeding of International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2007), Yogyakarta 24-26 Mei 2007. ISBN 1410-8313.
50. Silvester Tursiloadi, **Mansur D**, Yeny Meliana and Ruslan Efendi. Preparation of mesoporous titania-silica aerogels by CO₂ supercritical extraction. Diterbitkan pada Proceeding of International Conference on Chemical Sciences (ICCS-2007), Yogyakarta 24-26 Mei 2007. ISBN 1410-8313.
51. **Mansur D**, Yoshikawa T, Funai S, Norinaga K, Hayashi J-i, Tago T, Masuda T. Recovery of Petroleum-Related Useful Chemicals from Biomass Pyrolytic Oil. 化学工学会 研究発表講演要旨集 2010: 618-618
52. Sabar P. Simanungkalit, **Mansur D**, Nino Rinaldi, Robert R. Widjaya. Utilization of distillation residue of 2nd generation bioethanol for fine chemicals production. *Procedia Chemistry* 2015; 16: 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.011>
53. **Mansur D**, Muhammad Arifuddin Fitriady, Dwi Susilaningsih, Sabar Pangihutan Simanungkalit, and Egi Agustian. Lipid extraction of wet BLT0404 microalgae for biofuel application. *AIP Conf. Proc.* 2017; 1803(020006). <https://doi.org/10.1063/1.4973133>

54. Sabar Pangihutan Simanungkalit, **Mansur D**, Bobby Nurhakim, Astrid Agustin, Nino Rinaldi, Muryanto, and Muhammad Ariffudin Fitriady. Hydrothermal pretreatment of palm oil empty fruit bunch. AIP Conf. Proc. 2017; 1803(020011). <https://doi.org/10.1063/1.4973138>
55. **Mansur D**, Muhammad Arifuddin Fitriady, Dwi Susilaningsih, and Sabar Pangihutan Simanungkalit (2017): Production of biodiesel from *Coelastrella* sp. Microalgae. AIP Conf. Proc. 2017; 1904(020068).
<https://doi.org/10.1063/1.5011925>
56. S. N. Aisyiyah Jenie, Anis Kristiani, Kustomo, Sabar Simanungkalit, **Mansur D**. Preparation of nanobiochar as magnetic solid acid catalyst by pyrolysis-carbonization from oil palm empty fruit bunches. AIP Conf. Proc. 2017; 1904(020018).
<https://doi.org/10.1063/1.5011875>
57. **Mansur D**, Sabar Pangihutan Simanungkalit, Muhammad Arifuddin Fitriady, and Dwinda Safitri. Liquefaction of plastic for fuel production and application of volcanic ash as catalyst, AIP Conference Proceedings 2018; 2024(020001). <https://doi.org/10.1063/1.5064287>
58. Sabar Pangihutan Simanungkalit, **Mansur D**, and Muhammad Arifuddin Fitriady. Effect of plastic blends on slow pyrolysis of oil palm empty fruit bunch, AIP Conference Proceedings 2018; 2024(020003).
<https://doi.org/10.1063/1.5064289>
59. **Mansur D**, Ruliana, Cecep E. Rustana. Hydroprocessed Calophyllum inophyllum Oil for Linear Bio-alkane Fuel Production. International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE). IEEE. 2018. <https://doi.org/10.23919/ICUE-GESD.2018.8635732>

60. Sugiwati S, **Mansur D**, Rizal WA, Suryani R, Maryana R. Antioxidant activity of liquid smoke fractions from cajuput (*Melaleuca leucadendron*) twigs and rice (*Oryza sativa*) husks. AIP Conference Proceedings 2022; 2493: 070026. <https://doi.org/10.1063/5.0115927>
61. Saepurahman, Elfirza Zain, Andreas, **Mansur D**, Ajeng Arum Sari, Joni Prasetyo, Hari Hariadi. Fabrication of silica-bound titanium dioxide photocatalyst on fiberglass surface mat for dye removal. AIP Conf. Proc. 2023; 2902, 030006. <https://doi.org/10.1063/5.0172864>
62. Afghani FA, Sofyan MI, Agustiani T, Sulistia S, **Mansur D**, Sampora Y, Yubaidah S, Manawan MT, Hafizah MAE, Piton JK. Coconut coir utilization as a catalyst precursor in the transesterification process of used cooking oil into cocodiesel. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023; 1201: 012089. doi:10.1088/1755-1315/1201/1/012089
63. **Mansur D**, Elsa Debora, Saepurahman, Latifah Hauli, Wegik Dwi Prasetyo, Aminuddin. Comparative study of thermal and catalytic pyrolysis of palm fronds over BEA zeolites extrudate. AIP Conf. Proc. 2023; 2902(040007). <https://doi.org/10.1063/5.0173140>
64. Putra AMJ, Fadila N, Mujahidah ZS, **Mansur D**, Jenie SNA, Herbani Y, Anwar Y, Sugiarto AT. [Nanodots from Palm Kernel Cake](#). E3S Web of Conferences 2024; 503: 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450302001>
65. Rochmanto B, Haryono I, Setiaprada H, **Mansur D**, Haspriyanti N. Utilization of HVO as a B30 blend fuels to improve fuel filter mileage. AIP Conf. Proc. 2024; 2891(080002). <https://doi.org/10.1063/5.0201338>

Prosiding Nasional

66. Febriando H.Purba, **Mansur D**, Imron Rosyadi, Hadi Wahyudi. Studi karakteristik bio-char tongkol jagung dan kayu akasia melalui proses pirolisis. Proceedings International Workshop on Biomass for Biofuels 2017. P-13-001 - 009. ISBN: 978-979-98104-2-7.
67. Dewi Sondari, Agus Haryono, **Mansur D**. Penambahan Polisakarida Dalam Sistem Emulsi Untuk Aplikasi Bahan Kosmetik. Diterbitkan pada Prosiding Seminar Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik IV: “Pemanfaatan Hasil Litbang Iptek Untuk Mendukung Pembangunan Nasional”, Bandung, 31 Maret 2008. ISBN: 9-793-68886-6

Kekayaan Intelektual

Paten Nasional

Terdaftar

68. **Mansur D**, Agus Haryono, Sri Fahmiati, Yenny Meliana, Yulianti Sampora, Sri Budi Harmami. Polimer biosida sebagai antifouling dan proses pembuatannya. No pendaftaran: P00201407034
69. Sabar Pangihutan Simanungkalit, **Mansur D**, Nino Rinaldi, Dadi Ramdani. Reaktor proses hydrothermal liquefaction. No pendaftaran: P00201601285
70. Toto Sudiro, Bambang Hermanto, Agus Sukarto Wismogroho, Perdamean Sebayang, Muhammad Danang Birowosuto, Kemas Ahmad Zaini Thosin, Didik Aryanto, **Mansur D**. Sintesa serbuk nanokristal spinel CuMn_2O_4 berbasis oksida Cu dan Mn. Nomor pendaftaran: P00201608067
71. **Mansur D**, Dwi Susilaningsih, Adelia Dwi Valentin, Dian Noverita Widyaningrum, Sabar Pangihutan Simanungkalit,

Muhammad Arifuddin Fitriady, Nino Rinaldi. Proses ekstraksi lemak dari mikroalga dengan pelarut organik tunggal untuk biofuel. Nomor Pendaftaran: P00201608792

72. **Mansur D**, Augustine Susilowati, Dwi Susilaningsih, Yati Maryati, Sabar Pangihutan Simanungkalit, Dwinda Safitri. Proses pembuatan lipid netral dari mikroalga *Coelastrella* sp dan produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00201808696
73. Nino Rinaldi, Sabar Pangihutan Simanungkalit, **Mansur D**, Adid Adep Dwiatmoko, Fauzan, Silvester Tursiloadi. Alat untuk proses aktivasi katalis logam dengan menggunakan metoda sulfidasi langsung menggunakan karbon disulfida. Nomor Pendaftaran: P00201810000
74. Cecep E Rustana, **Mansur D**, Ruliana. Crude bioavtur (Bioaviation turbine fuel) berbahan dasar minyak nyamplung untuk bahan bakar pesawat jet A-1. Nomor Pendaftaran: S00201805015
75. **Mansur D**, Nailil Amani, Ika Juliana. Proses pembuatan katalis asam padat menggunakan batu padas dan produk yang dihasilkannya. Nomor pendaftaran P00201904058.
76. **Mansur D**, Muryanto, Yan Irawan. Proses produksi senyawa fenol dari lindi hitam dan produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00201911822
77. Diah Savitri Ernawati, Meircurius Dwi Condro Surboyo, **Mansur D**, Ira Arundina, Riyan Iman Marsetyo. Proses pembuatan oral thin film dengan liquid smoke tempurung kelapa dan produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00202201558
78. **Mansur D**, Saepurahman, Adid Adep Dwiatmoko, Aprilia Nur Tasfiyati, Muhammad Al Muttaqii, Sri Sugiwati, Toto Sudiro. Proses pembuatan katalis heterogen teknis nikel karbon

(Ni/C) dan produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00202207431.

79. Muttaqii MA, Indriyati, Rinaldi N, Mansur D, Dwiatmoko AA, Agustian E, Tursiloadi S, Safaat M, Prasetyo E, Amin M, Birawidha DC, Hendronursito Y, Sudibyo. Metode pembuatan katalis berbasis logam transisi (La, Ni, Mo, Zn) berpenyangga hierarchical zeolit alam. Nomor Pendaftaran: P00202205543
80. Dwiatmoko AA, Rinaldi N, Ramdani D, Mansur D, Maryana R, Agustian E, Maryati Y. Proses depolimerisasi lignin menjadi senyawa monomer aromatik menggunakan katalis Ru-Ni/TiO₂. Nomor Pendaftaran: P00202204464
81. **Mansur D**, Siti Yubaidah, Oni Fariza. Metode untuk memproduksi bio-oil dan arang melalui proses ko-pirolisis pelepah sawit dan styrofoam (limbah polistiren) serta produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00202311451
82. **Mansur D**, Hari Setiaprada, Aminuddin, Dadi Ramdani, Siti Yubaidah, Wahyu Anggo Rizal, Oni Fariza, Edi Supriadi, Latifah Hauli. Metode untuk memproduksi bahan bakar campuran minyak pirolisis dengan marine fuel oil dan produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00202314353.
83. Hauli L, **Mansur D**. Katalis zirkonia termodifikasi asam tungstat dan logam nikel beserta metode pembuatannya untuk perengkahan katalitik fraksi berat bio-oil hasil ko-pirolisis pelepah sawit dan styrofoam. Nomor Pendaftaran: P00202408691
84. Desvita H, Mansur D, Sisca V, Muttaqii MA. Metode pembuatan bioaktif edible coating modifikasi asap cair sebagai pelapis pada buah tomat cherry. Nomor Pendaftaran: S00202408698
85. Sisca V, Hauli L, Mansur D, Annas D. Komposisi katalis CaO termodifikasi zeolit alam sebagai katalis dalam produksi biodisel. Nomor Pendaftaran: S00202408695

86. **Mansur D**, Desvita H, Sisca V. Metode dan komposisi untuk memproduksi edible film mengandung asap cair sebagai agen antibakteri serta produk yang dihasilkannya. Nomor Pendaftaran: P00202403760.
87. **Mansur D**. Komposisi zat aditif penambah oktan bensin dan metode pembuatannya serta aplikasinya. Nomor Pendaftaran: P00202505474

Tersertifikasi

88. IDP000082055. Dewisondari, **Mansur D**, Agus Haryono. Proses sintesis polisakarida kationik larut air yang memiliki rantai samping gugus ammonium kuarterner sebagai surfaktan polimer untuk produk kosmetik. No pendaftaran: P00200700607.
89. IDP000075313. SNA Jenie, **Mansur D**, Sabar P Simanungkalit, Sudiarmanto, Anis Kristiani, Proses pembuatan katalis heterogen berbasis nanomaterial biochar-magnetik dari limbah kelapa sawit, P00201708909.
90. IDP000075313. Toto Sudiro, Ciswandi, Fitri Afriani, Didik Aryanto, Bambang Hermanto, Agus Sukarto Wismogroho, Kemas Ahmad Zaini Thosin, Padamean Sebayang, **Mansur D**: Proses sintesa serbuk nanokristal spinel oksida Zn dan Co dan produk yang dihasilkannya. Nomor pendaftaran: P00201703484.
91. IDS000005166. **Mansur D**, Muhammad Arifuddin Fitriady, Muryanto, Haznan Abimanyu, Yanni Sudiyani. Metode pemisahan lignin menggunakan cairan ionik. Nomor pendaftaran: S00202004655

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama : Dr. Dieni Mansur, S.T. M.Eng.
Tempat, Tanggal
Lahir : Bukittinggi, April 1978
Anak ke : 3 dari 4 Bersaudara
Jenis Kelamin : Perempuan
Nama Ayah
Kandung : Mansur
Nama Ibu
Kandung : Uti
Nama Suami : Dr. Toto, M.Eng.
Jumlah Anak : 1 orang
Nama Anak : Davin
Nama Unit : Pusat Riset Kimia Molekuler
Nama Organisasi : Organisasi Riset Nanoteknologi dan
Material
Nama Instansi : Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi : Optimalisasi Termokimia sebagai
Solusi strategis Konversi Biomassa
menjadi Biofuel dan Bahan Kimia
Berkelanjutan

Ilmu : Teknik
 Bidang : Teknik Kimia
 Kepakaran : Teknologi bioenergi dan kimia proses
 No. SK Pangkat
 Terakhir : Keputusan Presiden RI Nomor 13/K Tahun 2023 tanggal 13 Juni 2023
 No. SK Peneliti
 Ahli Utama : Keputusan Presiden RI Nomor 2/M Tahun 2023 tanggal 9 Januari 2023
 Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37561689900&origin=resultslist>
 Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.com/citations?user=kaoHmyEAAAJ&hl=en&oi=sra>

B. PENDIDIKAN FORMAL

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Negeri 03 Koto Tangah	Kab. Agam, Sumatera Barat/ Indonesia	1991
2.	SMP	SMP Negeri 1 Tilatang Kamang	Kab. Agam, Sumatera Barat/ Indonesia	1994
3.	SMA	SMA Negeri 1 Bukittinggi	Bukittinggi, Sumatera Barat/ Indonesia	1997
4.	D3	Politeknik Negeri Bandung	Bandung/ Indonesia	2000

5.	S1	Universitas Diponegoro	Semarang/ Indonesia	2003
6.	S2	Hokkaido University	Hokkaido/ Jepang	2010
7.	S3	Hokkaido University	Hokkaido/ Jepang	2013

C. PENDIDIKAN NONFORMAL

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Diklat fungsional peneliti tingkat pertama	Depok/ Indonesia	2006
2.	Diklat jabatan fungsional peneliti tingkat lanjutan	Cibinong/ Indonesia	2016
3.	Operation and maintenance training of micromeritics PID – Micro Activity Test	P3TKEBTKE- Kementerian ESDM, Gn. Sindur, Bogor/ Indonesia	2017
4.	ASEAN-ROK Biofuel and IP policy evaluation seminar	Chiang Mai/ Thailand	2018
5.	Kuliah umum status terkini pengembangan biofuels asal minyak sawit dan minyak inti sawit	Bogor/ Indonesia	2019

D. JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Pertama golongan III/a	1 Aug 2007
2.	Peneliti Muda golongan III/c	1 Dec 2013
3.	Peneliti Muda golongan III/d	1 Jun 2015

4.	Peneliti Ahli Madya golongan IV/a	1 Jun 2017
5.	Peneliti Ahli Madya golongan IV/c	1 Jun 2020
6.	Peneliti Ahli Utama golongan IV/d	9 Jan 2023

E. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	International Conference on Chemical Sciences	Oral presenter	Departemen Kimia FMIPA UGM (Yogyakarta, Indonesia)	2007
2.	Seminar Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik	Oral presenter	IPT – LIPI (Jakarta, Indonesia)	2008
3.	化学工学会第42回秋季大会(42nd Autumn Conference of the Society of Chemical Engineers	Oral presenter	化学工学会 (Society of Chemical Engineers) (Doshisha University, Kyoto, Japan)	2010
4	The 23rd International Symposium on Chemical Engineering	Oral presenter	Kyushu Sangyo University (Fukuoka, Japan)	2010
5	The Second International Symposium on Gasification and Its Application	Oral presenter	Kyushu University (Fukuoka, Japan)	2010

6	The 24 th International Symposium on Chemical Engineering	Oral Presenter	Seoul, Korea	2011
7	The 6 th Asia Pacific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE'11)	Poster Presenter	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences (Beijing, China)	2011
8.	The 15th International Congress on Catalysis	Poster Presenter	International Congress Center (Munich, Germany)	2012
9.	Basic and applied sciences interdisciplinary conference (BASIC)	Poster Presenter	FMIPA Universitas Indonesia (Depok, Indonesia)	2017
10.	The 4th international symposium: Innovative bioproduction Indonesia (ISIBio)	Keynote speaker	Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI (Bogor, Indonesia)	2017
11.	The 3rd International symposium on applied chemistry	Presenter	LIPI (Jakarta, Indonesia)	2017
12	International conference on green energy for sustainable development (ICUE)	Oral presenter	Asian Institute of Technology (Phuket, Thailand)	2018
13	4th International symposium on applied chemistry (ISAC)	Oral presenter	LIPI (BSD City, Indonesia)	2018

14	ITSF seminar on science and technology	Speaker	Indonesia Toray Science Foundation (Jakarta, Indonesia)	2019
15	JSAE/SAE International powertrains, fuels and lubricants meeting	Oral presenter	Society of automotive engineers of Japan, Inc. (Kyoto, Japan)	2019
16	8th International symposium on applied chemistry (ISAC)	Oral presenter	BRIN (Tangerang Selatan, Indonesia)	2022

F. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	0
2.	Buku Nasional	0
3.	Bagian dari Buku Internasional	0
4.	Bagian dari Buku Nasional	4
5.	Jurnal Internasional	27
6.	Jurnal Nasional	16
7.	Prosiding Internasional	18
8.	Prosiding Nasional	2
9.	Paten Internasional	
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
10.	Paten Nasional	
	Terdaftar	20

	Tersertifikasi	4
11.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
12.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
13.	Hak Cipta	0
14.	Desain Industri	0
15.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0
16.	Transaksi Lisensi	0

b) Kualifikasi Penulis

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	1
2.	Bersama Penulis Lainnya	66
	Total	67

c) Kualifikasi Bahasa

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	17
2.	Bahasa Inggris	50
3.	Bahasa Lainnya	0
	Total	67

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	0
	Terdaftar	0
	Tersertifikasi	0
2.	Paten Nasional	24
	Terdaftar	20

	Tersertifikasi	4
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	0
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	0
5.	Hak Cipta	0
6.	Desain Industri	0
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	0

3. Kerjasama bersama Mitra

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	0

J. PEMBINAAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti atau Perekayasa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Dr. Sabar Pangihutan Simanungkalit	BRIN	Membimbing dan bekerjasama dalam kegiatan riset berjudul Pengembangan energi berbasis biogas dan bio-oil	2016
2.	Dr. Sri Sugiwati	BRIN	Membimbing dan bekerjasama dalam kegiatan penelitian berjudul “Prospek asap cair dari kayu putih dan sekam padi sebagai antivirus corona	2021

Mahasiswa

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	Prabowo	Program Sarjana S1 UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Pembimbing pertama	2015
2.	Eka Putri Rahayu	Program Sarjana S1 UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Pembimbing pertama	2016
3.	Ruliana	Program Sarjana S1 Universitas Negeri Jakarta	Pembimbing kedua	2017
4.	Meircurius Dwi Condro Surboyo	Program Sarjana S2 Universitas Airlangga	Pembimbing lapangan	2017
5.	Febriando H Purba	Program Sarjana S1 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (Untirta)	Pembimbing kedua	2017
6.	Nailil Amany	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Pembimbing kedua	2017
7.	Nurul Qomariyah Eka	UIN Syarif Hidayatullah Jakarta	Pembimbing kedua	2017
8.	Meircurius Dwi Condro Surboyo	Universitas Airlangga	Penguji proposal dokter spesialis	2017

9.	Dhesti Rahmawati	Universitas Jenderal Soedirman	Pembimbing kedua	2021
10.	Elsa Debora	Universitas Pertamina	Pembimbing kedua	2022
11	Sofia Wulandari	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Pembimbing kedua	2023
12	Amallia Sri Dhaningsih	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Pembimbing kedua	2023
13	Imam Akbar Fadilah Al Rustam	Universitas Jenderal Soedirman	Pembimbing kedua	2023
14	Novia Amalina Ramdhiani	Universitas Jenderal Soedirman	Pembimbing kedua	2023
15	Shiva Chalwati Noor	Universitas Jenderal Soedirman	Pembimbing kedua	2023
16	Alisyah Putri Desvi Takahasi	Universitas Pertamina	Pembimbing kedua	2024
17	Wido Lesar Ignasius Purba	Universitas Pertamina	Pembimbing kedua	2024
18	Fatimah	Universitas Jambi	Pembimbing kedua	2025
19	Reni Sartika Manik	Universitas Jambi	Pembimbing kedua	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpenindo	2019 – 2021
2.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia	2022 – sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	L’Oreal-UNESCO For Women in Science	The UNESCO Ministry of Education and Culture L’Oreal National Fellowship	2012
2.	Satyalancana karya satya X tahun	Presiden RI	2015
3.	Toray Science and Technology Research Grant	Indonesia Toray Science Foundation	2018
4.	Satyalancana karya satya XX tahun	Presiden RI	2025

Teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi merupakan metode yang cepat untuk mengkonversi biomassa menjadi senyawa kimia terbarukan dan biofuel. Secara keseluruhan, produk yang dihasilkan memiliki potensi strategis dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Jika pada masa mendatang dapat diproduksi dalam skala yang lebih besar, teknologi ini berpeluang mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, serta mengoptimalkan pemanfaatan limbah biomassa.

Orasi ilmiah ini membahas pemanfaatan hasil optimalisasi teknologi pirolisis dan HTL yang menghasilkan senyawa kimia terbarukan dan biofuel. Pengembangannya tidak hanya biomassa darat tetapi juga akan diuji coba terhadap rumput laut yang masih terbatas penelitiannya. Selain itu, mendalami pemanfaatan biochar di bidang kimia masih menjadi perhatian untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi emisi, dan menekan biaya produksi.

Melalui orasi ilmiah ini, diharapkan teknologi pirolisis dan hidrotermal likuifaksi dapat memberikan wawasan dan kontribusi ilmiah dalam perkembangan ilmu dan pengetahuan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan kimia terbarukan dan biofuel.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.2362



ISSN 3090-8485



9

773090

848005