



ISSN 3090-8485

ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

**PEMANFAATAN *BIOFUEL* DALAM MENDUKUNG
TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN
DI INDONESIA: KASUS BIODIESEL**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU BAHAN BAKAR DAN KONVERSI ENERGI
BIDANG ENERGI BARU TERBARUKAN
KEPAKARAN TEKNOLOGI *BIOFUEL***



OLEH:

SONI SOLISTIA WIRAWAN

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**PEMANFAATAN *BIOFUEL* DALAM
MENDUKUNG TRANSISI ENERGI
BERKELANJUTAN DI INDONESIA:
KASUS BIODIESEL**

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/>



**PEMANFAATAN *BIOFUEL* DALAM
MENDUKUNG TRANSISI ENERGI
BERKELANJUTAN DI INDONESIA:
KASUS BIODIESEL**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU BAHAN BAKAR DAN KONVERSI ENERGI
BIDANG ENERGI BARU TERBARUKAN
KEPAKARAN TEKNOLOGI *BIOFUEL***

OLEH:
SONI SOLISTIA WIRAWAN

Penerbit BRIN

© 2025 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Teknologi Bahan Bakar

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pemanfaatan *Biofuel* dalam Mendukung Transisi Energi Berkelanjutan di Indonesia: Kasus Biodiesel/Soni Solistia Wirawan–Jakarta: Penerbit BRIN, 2025.

ix + 131 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

- | | |
|--------------|-------------------|
| 1. Energi | 2. <i>Biofuel</i> |
| 3. Biodiesel | 4. Emisi |

662.8

Copy editor : Rahma Hilma Taslima
Proofreader : Martinus Helmiawan
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : Rahma Hilma Taslima

Edisi pertama : Oktober 2025



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
 *psite*: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
@penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI BIODIESEL PADA MASA LALU, MASA KINI, DAN MASA DEPAN	13
A. Teknologi Biodiesel Masa Lalu	14
B. Teknologi Biodiesel Masa Kini	16
C. Teknologi Biodiesel Masa Depan	23
III. RISET DAN INOVASI PRODUK BIODIESEL DALAM MENDUKUNG TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN	27
A. Kajian Potensi Sumber Daya Hayati (<i>TRL 1</i>).....	29
B. Tahapan Proses Pembangunan Pabrik Biodiesel Skala Percontohan (<i>TRL 2 – 7</i>) Hingga Tahap Siap Digunakan Secara Komersial (<i>TRL 8 – 9</i>).....	34
C. Uji Kualitas, Unjuk Kerja, dan Emisi Bahan Bakar Biodiesel di Sektor Transportasi.....	39
IV. PELUANG, TANTANGAN, SERTA REKOMENDASI PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN BIODIESEL BERKELANJUTAN	61
A. Proyeksi Kebutuhan Biodiesel Ke Depan	61
B. Peluang dan Tantangan.....	62
C. Strategi dan Rekomendasi Pelaksanaan Program Implementasi Biodiesel Ke Depan	64
V. KESIMPULAN	69
VI. PENUTUP	71

UCAPAN TERIMA KASIH	73
DAFTAR PUSTAKA	77
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	95
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema produksi biodiesel	15
Gambar 2.2	Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa	17
Gambar 3.1	Tahapan riset berdasarkan level <i>TRL</i>	28
Gambar 3.2	Tahapan proses rekayasa rancang bangun pabrik.....	35
Gambar 3.3	Pabrik biodiesel kapasitas 1,5 Ton/hari di laboratorium biodiesel BPPT, di Puspiptek Serpong	36
Gambar 3.4	Pabrik biodiesel kapasitas 8 ton/hari	36
Gambar 3.5	Pabrik biodiesel skala percontohan	37
Gambar 3.6	Metode perhitungan efek biodiesel terhadap pengurangan emisi	55
Gambar 3.7	Metode perhitungan biaya eksternal <i>Impact Pathway</i> <i>Analysis</i> (IPA)	57
Gambar 4.1	(a) Pangsa kebutuhan biodiesel dan (b) proyeksi kebutuhan BBM.....	62
Gambar 4.2	Sinergi antar <i>stakeholders</i> biodiesel.....	66
Gambar 4.3	Perbandingan antara struktur harga <i>biofuel</i> dengan bahan bakar minyak.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beragam metode produksi biodiesel.....	19
Tabel 2.2	Penyedia teknologi biodiesel komersial.....	20
Tabel 3.1	Tanaman minyak nabati potensial di Indonesia	30
Tabel 3.2	Pabrik biodiesel skala percontohan sampai dengan tahun 2005.....	37
Tabel 3.3	Standar Biodiesel SNI 04-7182-2006	40
Tabel 3.4	Perkembangan spesifikasi biodiesel (B100)	42
Tabel 3.5	Perubahan pelepasan emisi gas buang akibat penggunaan biodiesel.....	53

BIODATA RINGKAS



Dr. Ir. Soni Solistia Wirawan, M.Eng. lahir di Bandung, pada tanggal 10 Oktober 1961 adalah anak ke empat dari Bapak S. Anjar Sumyana dan Ibu Koes Anjar Sumyana. Menikah dengan Dra. Ika Sandra dan dikaruniai empat orang anak, yaitu Nike Nadia S.H., M.H., Noval Hudiya S. Kom., Dafa Fadiya S.Si., M.Si., dan Daniya Fathiya S.P.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 43/M Tahun 2020 tanggal 22 Mei 2020, berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan telah diangkat sebagai Perekayasa Ahli Utama di BRIN

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Nomor 199/I/HK/2025, tanggal 7 Oktober 2025 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan Orasi Ilmiah Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Taruna Bakti di Bandung, tahun 1973, Sekolah Menengah Umum Tingkat Pertama (SMP) Negeri XIII Bandung, tahun 1976, Sekolah Menengah Umum Tingkat Atas (SMA) Negeri III Bandung, tahun 1980. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang tahun 1986, gelar Magister Teknik di bidang *Mechanical System Engineering Program* dari *Nagaoka University of Technology, Japan* tahun 1998, dan gelar Doktor di

bidang Ilmu Keteknikan Pertanian dari Institut Pertanian Bogor, tahun 2009.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang energi, antara lain: *“Fuel Combustion Technology Course”* di ITB Bandung (September 1988 sd Juli 1989), *“Nuclear Technology Course”* di Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), Japan (Oktober 1989–April 1990), *“On the job training on PWR Nuclear Power Plant Design Aspects”* di Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Japan (juli 1990 sd Juli 1992), *“Plant Design System/PDS Training di Intergraph”* di Huntsville, USA (April 1994), *“AP600 Nuclear Power Plant Design Participation”* di Bechtel California dan di Westinghouse Electric Corporation di Monroeville, PA, USA (1993 sd 1996), *“Training Balance of Plant PLTU”* di PLN Jatim (1996), *“LNG Plant Tangguh Front End Engineering Design Project”*, Houston, TX, USA (Maret sd Juni 2001).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Subbagian Tata Usaha Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi (BRDST) – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (2001–2002), Kepala BRDST – BPPT (2002–2010), Kepala Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) – BPPT (2010–2014), Sekretaris Utama BPPT (2014–2018), Deputi Kepala BPPT Bidang Teknologi Agroindustri dan Bioteknologi (2018–2021).

Jabatan fungsional diawali sebagai Asisten Peneliti Madya golongan III/b tahun 1993, Ajun Peneliti Muda golongan III/b tahun 1996, Ajun Peneliti Madya golongan III/c tahun 2000, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2007, Perekayasa Madya golongan IV/b tahun 2009 dan memperoleh jabatan fungsional Perekayasa Ahli Utama golongan IV/e bidang energi tahun 2021.

Menghasilkan 62 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 32 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 30 KTI dalam bahasa Indonesia. Menghasilkan 10 Paten terdaftar.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing tesis (S-2) pada Universitas Gajah Mada; pembimbing disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor, Universitas Indonesia dan Universitas Sriwijaya; serta pengujian skripsi (S-1) dan disertasi (S-3) pada Institut Pertanian Bogor.

Aktif dalam organisasi ilmiah, di antaranya yaitu sebagai anggota Anggota Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI) (2003–sekarang), Anggota Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI) (2011–sekarang), anggota Persatuan Insinyur Indonesia/PII (2021–Sekarang) dan anggota Perhimpunan Periset Indonesia (PPI).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Pembangunan (tahun 2006), Satyalancana Karya Satya 30 Tahun (tahun 2018), Satyalancana Karya Satya 20 Tahun (tahun 2009), Satyalancana Karya Satya 10 Tahun (tahun 2002) dari Presiden RI.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Instansi yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur 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 (tanggal/bulan/tahun orasi dilaksanakan) menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“PEMANFAATAN *BIOFUEL* DALAM MENDUKUNG TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN DI INDONESIA: KASUS BIODIESEL”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang dan tantangan dalam riset teknologi biofuel jenis biodiesel. Riset tentang diversifikasi bahan baku dan teknologi proses untuk mendapatkan produk biodiesel

yang lebih ekonomis serta berkualitas baik perlu dilakukan dalam rangka mendukung pelaksanaan program pemanfaatan biodiesel yang berkelanjutan. Dalam orasi ini juga disampaikan pentingnya dukungan kebijakan dan sinergi antar *stakeholder* terkait.

I. PENDAHULUAN

Transisi energi menuju sistem energi berkelanjutan merupakan salah satu isu global dalam konteks perubahan iklim, dekarbonisasi, dan ketahanan energi. Pada tahun 2022, sektor energi berkontribusi terhadap 89% emisi CO₂ global (Siregar, 2024). Data pada tahun 2023 menunjukkan bahwa dua pertiga emisi CO₂ global disumbang hanya oleh 10 negara dengan Indonesia sebagai peringkat ketujuh (Prasad et al., 2024). Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil merupakan penyebab utama akumulasi emisi karbon, sehingga transisi energi menjadi kebutuhan yang mendesak (Sumarno et al., 2022). Sebagai negara berpenduduk terpadat keempat di dunia dengan jumlah penduduk sekitar 285 juta jiwa (BPS, 2025), Indonesia menghadapi tantangan besar dalam pemenuhan kebutuhan energi. Indonesia juga memiliki komitmen terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca (*GHG*) dengan meratifikasi *Paris Agreement* (Wirawan et al., 2024) sebagai upaya untuk membatasi peningkatan suhu global maksimum sebesar 1,5°C di atas tingkat pra-industri (Allen et al., 2018).

Pasokan energi primer di Indonesia tahun 2024 mencapai 2.007 juta Setara Barel Minyak (SBM), dengan porsi terbesar berasal dari batu bara (40%), diikuti minyak dan bahan bakar (29%), gas (16%), dan energi terbarukan (15%). Impor minyak dan bahan bakar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan domestik. Pada tahun 2024, impor dan produksi minyak mentah berturut-turut adalah sebesar 127,7 juta barel dan 212 juta barel. Kebutuhan bahan bakar domestik pada tahun tersebut adalah sebesar 82,9 juta kL yang didukung dengan impor sebesar 28,1 juta kL. Impor yang dilakukan dapat memenuhi sekitar 60% dari

pasokan minyak mentah dan 34% dari total kebutuhan bahan bakar domestik. Impor minyak dan bahan bakar membebani neraca perdagangan dan menyebabkan defisit anggaran (Anditya et al., 2024; Wirawan et al., 2025a).

Sebagian besar produksi bahan bakar minyak (BBM) saat ini masih menggunakan bahan baku yang tak terbarukan. Hal ini berpotensi mengancam stabilitas energi nasional ketika cadangan bahan baku menipis. Kebutuhan energi Indonesia yang terus meningkat menyebabkan tekanan yang lebih besar bagi pemerintah untuk menghasilkan lebih banyak sumber daya energi dan ini dapat menjadi ancaman terhadap ketahanan energi nasional (Setiawan et al., 2021). Substitusi dengan bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan perlu dilakukan untuk mendorong ketahanan energi nasional dan menekan impor BBM. Bahan bakar alternatif yang dikembangkan harus dapat memanfaatkan infrastruktur yang sudah ada dan memiliki kesesuaian dengan mesin. Salah satu solusi yang sangat relevan dalam konteks ini adalah pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai alternatif bahan bakar fosil. *Biofuel* adalah bahan bakar yang diproduksi dari bahan terbarukan yang berasal dari tumbuhan atau hewan.

Berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 5 tahun 2006 dan Instruksi Presiden (Inpres) No. 1 tahun 2006, sejak tahun 2006 pemerintah Indonesia resmi mengambil kebijakan pengembangan *biofuel* yang memenuhi persyaratan bahan bakar alternatif. Dari beberapa jenis *biofuel* yang dikembangkan, baru biodiesel yang implementasinya telah memenuhi target *roadmap biofuel* nasional. Sedangkan bioetanol E5 masih dalam tahap percobaan penerapan di beberapa Stasiun Pengisian Bahan Bakar di Jakarta dan Surabaya (Wirawan et al., 2025b). Salah satu penyebab lambatnya perkembangan program bioetanol

adalah ketergantungan pada bahan baku berbasis molases dan mekanisme harga bahan baku yang belum kondusif. Untuk mengatasi hal tersebut, bioetanol berbasis sorgum sebagai upaya diversifikasi bahan baku dikembangkan dan potensi kelayakannya telah dikaji dalam studi terdahulu (Wirawan et al., 2024a; Wirawan et al., 2025a).

Sejak Januari 2025, Indonesia sudah menerapkan penggunaan B40 (campuran 60% minyak diesel dengan 40% biodiesel murni) di sektor otomotif maupun non-otomotif. Hal ini menempatkan Indonesia menjadi pengguna biodiesel terbesar di dunia. Selain berkontribusi pada pencapaian target penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional, peningkatan penggunaan *biofuel* juga mempercepat pencapaian target *net zero emission* (NZE). Menurut *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC, 2022), target penurunan emisi nasional pada tahun 2030 adalah sebesar 31,89% tanpa bantuan asing dan 43,20% dengan bantuan asing. Produksi *biofuel* dan pencampurannya dengan bahan bakar fosil merupakan salah satu upaya vital dalam mendorong terlaksananya transisi energi di Indonesia menuju ekonomi rendah karbon (Ramadhan et al., 2024).

Biofuel berpotensi mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang semakin terbatas ketersediaannya dan tinggi emisi. Indonesia memiliki sumber daya alam yang berlimpah untuk memproduksi *biofuel*, seperti kelapa sawit, jagung, dan singkong. Namun, tantangan utama dalam pengembangan *biofuel* adalah ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan (Aditiya et al., 2016). Ketergantungan pada satu jenis bahan baku dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan keberlanjutan ekonomi. Indonesia setidaknya memiliki 10 jenis bahan baku *edible* dan 14 jenis bahan baku *non edible* yang

potensial untuk produksi biodiesel (Wirawan et al., 2024). Saat ini Indonesia bergantung pada kelapa sawit sebagai komoditas tunggal untuk pemenuhan produksi biodiesel nasional. Hasil studi memproyeksikan bahwa pada tahun 2050 dibutuhkan 313–679 juta ton produk kelapa sawit sehingga diperlukan lahan perkebunan baru seluas 18,58–45,59 juta hektar (Xin et al., 2022). Salah satu bahan baku potensial untuk mengurangi ketergantungan pada kelapa sawit adalah *Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)*. *PFAD* diperoleh melalui satu tahap reaksi esterifikasi tanpa menggunakan katalis, sehingga dapat menekan biaya produksi (M. D. Solikhah et al., 2024).

Namun, bahan baku bukanlah satu-satunya kendala pengembangan biodiesel jangka panjang di Indonesia. Terdapat beberapa hal teknis yang perlu diperhatikan saat pengaplikasian biodiesel pada mesin kendaraan. Semakin tinggi rasio *blending* biodiesel, maka baku mutu biodieselnnya semakin ketat. Untuk mempertahankan kualitas biodiesel B100, riset yang telah dilakukan berhasil mendapatkan inovasi pemisahan air dalam biodiesel dengan metode termal (Pamungkas et al., 2023). Selain itu diperoleh inovasi metode absorpsi air dari biodiesel dengan menggunakan hidrogel berbasis asam akrilat yang diperkuat stabilitas mekanisnya dengan *geothermal solid waste* (Pamungkas et al., 2025).

Riset biodiesel dalam mendukung kebijakan energi nasional memiliki posisi strategis untuk berkontribusi terhadap pencapaian tujuan *NZE 2060*. Riset yang mendalam mengenai potensi bahan baku, teknologi produksi, dan dampak lingkungan dari *biofuel* dapat menjadi dasar kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Berbagai riset yang sudah dilakukan secara terus-menerus dan mendalam telah berkontribusi dalam merumuskan formulasi biodiesel yang aman digunakan serta memenuhi

standar mutu dan harga kompetitif. Hasil riset ini menjadi dasar untuk kebijakan *biofuel* nasional yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Naskah orasi ilmiah ini berfokus pada perkembangan pemanfaatan *biofuel* jenis biodiesel. Latar belakang dari pentingnya pengembangan dan pemanfaatan *biofuel* dalam rangka mendukung program transisi energi berkelanjutan diuraikan di Bab 1. Pengantar untuk mengetahui beberapa hal terkait biodiesel dimulai dengan sejarah, status teknologi masa lalu, masa kini dan masa depan diuraikan pada Bab 2. Uraian tentang riset dan inovasi produk biodiesel sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan dalam mendukung transisi energi berkelanjutan disajikan pada Bab 3. Peluang, tantangan dan rekomendasi untuk keberlanjutan program disajikan pada Bab 4, kesimpulan pada Bab 5, dan penutup pada Bab 6.

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI BIODIESEL PADA MASA LALU, MASA KINI, DAN MASA DEPAN

Biodiesel adalah campuran berbagai *Fatty Acid Methyl Ester* (*FAME*) yang diproduksi dari minyak nabati atau hewani melalui proses yang dikenal sebagai proses transesterifikasi dengan bantuan metanol sebagai pelarut. Profil *FAME* merupakan karakteristik unik dari setiap bahan baku yang tidak dapat dikontrol selama proses transesterifikasi (ASTM-D6751 atau EN14214) (Pham et al., 2020). Tingginya kandungan oksigen pada biodiesel, yaitu sekitar 11%, menjadikan biodiesel memiliki kandungan karbon dan hidrogen yang lebih rendah dibandingkan minyak solar. Sehingga kandungan energi biodiesel dalam basis massa sekitar 10% lebih rendah dari minyak solar. Namun, karena densitas bahan bakar biodiesel yang lebih tinggi, kandungan energi volumetriknya hanya sekitar 5–6% lebih rendah daripada minyak solar (Hoekman et al., 2012).

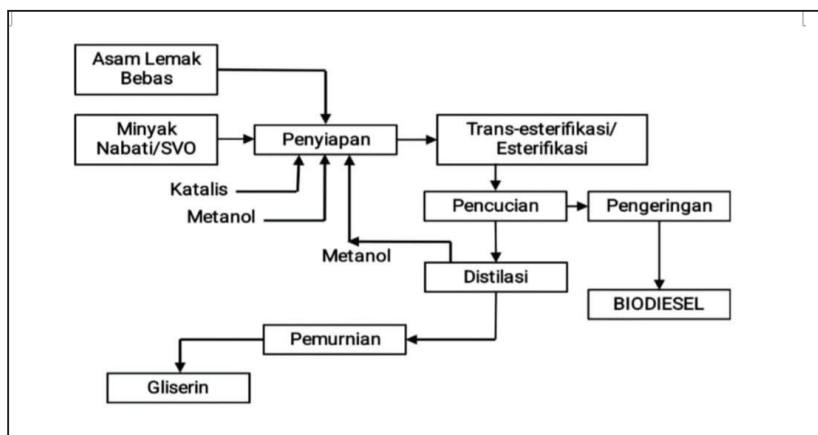
Biodiesel tersusun dari 5 jenis profil *FAME* dominan berbeda (Knothe & Razon, 2017). Biodiesel dari bahan baku berbeda memiliki komposisi *FAME* berbeda yang berpengaruh terhadap karakteristik bahan bakar yang dihasilkan. Seperti metil laurat merupakan *FAME* dominan pada minyak kelapa (44,56 wt%) dan minyak inti sawit (48,38 wt%). Sedangkan metil oleat merupakan *FAME* dominan pada minyak zaitun (74,52 wt%), minyak kanola (60,33 wt%), dan minyak jarak (42,81 wt%) (Ibadurrohman et al., 2023). Struktur molekul, panjang rantai karbon, sifat jenuh dan tak jenuh, derajat ketidakjenuhan, dan posisi ikatan rangkap senyawa *FAME* menentukan keseluruhan properti biodiesel (Gopinath et al., 2014).

A. Teknologi Biodiesel Masa Lalu

Penemuan mesin diesel oleh Rudolf Diesel pada akhir abad ke-19 tidak hanya memengaruhi bahan bakar fosil tetapi juga *biofuel*. Mesin yang kemudian dikenal sebagai mesin diesel ini dapat beroperasi dengan minyak nabati (Suali & Suali, 2023). Secara historis, Rudolf Diesel menguji prototipe mesin menggunakan minyak kacang tanah di Pameran Dunia tahun 1900 di Paris. Paten dari prototipe mesin ini didaftarkan pada tahun 1892 dengan nama “mesin *heavy oil*” yang menggunakan minyak nabati atau residu dari distilasi minyak bumi sebagai bahan bakar. Pada tahun 1921, *American Standard Testing and Material (ASTM)* menerbitkan standar tentatif pertama untuk distilasi produk minyak bumi pada tekanan atmosfer (*ASTM D 86-05*) (Blin et al., 2013). Namun, minyak nabati memiliki beberapa kelemahan seperti viskositas dan volatilitasnya yang tinggi, sehingga membentuk endapan pada injektor bahan bakar dan tidak terbakar sempurna. Kemudian, biodiesel yang memenuhi persyaratan standar ASTM diproduksi dengan sifat bahan bakar yang serupa dengan minyak solar (Ashok et al., 2018).

Saat ini ada beberapa definisi tentang biodiesel yang dipahami di kalangan masyarakat. Beberapa pihak memandang bahwa semua bahan bakar pengganti minyak solar yang diperoleh dari minyak nabati dapat dianggap sebagai biodiesel. Untuk menghindari interpretasi ganda, biodiesel didefinisikan sebagai senyawa ester alkil asam lemak/*fatty acid alkyl ester*. Senyawa tersebut diperoleh melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati (*vegetable oil*) dengan alkohol, menghasilkan bahan bakar dengan berat molekul lebih kecil dan viskositas hampir sama dengan minyak diesel atau minyak solar, akan tetapi mempunyai angka *cetane* yang lebih besar. Senyawa alkohol yang biasa digunakan adalah metanol atau etanol. Proses

ini tidak hanya menghasilkan ester alkil asam lemak sebagai produk utama, akan tetapi juga menghasilkan gliserin sebagai produk ikutan yang berharga dan mudah dipisahkan. Karena metanol lebih murah dari pada etanol maupun alkohol sederhana lainnya, maka metanol merupakan alkohol yang paling banyak digunakan dalam transesterifikasi. Produk utamanya adalah *FAME* adalah yang paling populer sehingga biasa disebut singkat biodiesel (Joelianingsih et al., 2008).



Sumber: Wirawan (2005a)

Gambar 2.1 Skema produksi biodiesel

Produksi biodiesel juga bisa dilakukan dengan rute esterifikasi dengan menggunakan asam lemak yang direaksikan dengan metanol dalam lingkungan asam. Jika pada rute transesterifikasi diperoleh hasil samping berupa gliserin, maka dalam rute esterifikasi ini terbentuk air sebagai hasil reaksi. Pilihan penggunaan rute tersebut didasarkan terutama kepada ketersediaan dan harga bahan baku, walaupun secara umum reaksi esterifikasi ini lebih lambat dari pada transesterifikasi.

Gambar 2.1 memperlihatkan skema alur produksi biodiesel baik dengan cara transesterifikasi maupun esterifikasi.

B. Teknologi Biodiesel Masa Kini

Teknologi biodiesel saat ini menggunakan generasi pertama dengan bahan baku minyak nabati *edible* seperti minyak sawit dan minyak kedelai. Proses transesterifikasi dengan metanol digunakan untuk menghasilkan *FAME*. Kelebihan dari generasi ini adalah teknologi sudah mapan dan banyak digunakan dalam produksi biodiesel. Namun, penggunaan minyak nabati *edible* akan berkompetisi dengan penggunaan untuk kebutuhan pangan (Løkke et al., 2021; Ma et al., 2024). Pemilihan bahan baku merupakan aspek penting dari produksi biodiesel, yang berdampak signifikan pada biaya produksi. Biaya bahan baku dari minyak nabati sebesar 75% dari total biaya produksi. Upaya global saat ini diarahkan untuk memaksimalkan produksi biodiesel dari minyak nabati yang *non-edible* dengan biaya rendah dan produktivitasnya yang tinggi. Pemanfaatan bahan baku *non-edible* yang tidak bersaing untuk kebutuhan pangan atau lahan untuk budidaya sektor pangan sangat penting untuk mencegah peningkatan harga pangan ataupun minyak nabati (Elgharbawy et al., 2025).

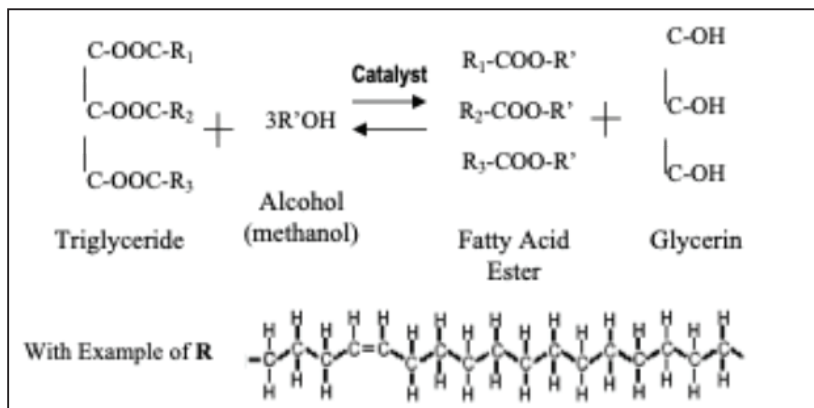
Teknologi produksi biodiesel relatif sederhana dibanding teknologi proses produksi pada kilang minyak. Proses transesterifikasi minyak nabati tersebut sudah dikembangkan di dunia sejak tahun 1853 pertama kali oleh E. Duffy dan J. Patrick, peneliti dari Austria (Mittelbach & Remschmidt, 2004). Dengan demikian proses tersebut memungkinkan untuk dapat dikembangkan, dikuasai dan diterapkan secara komersial oleh lembaga di dalam negeri. Semenjak pabrik biodiesel pertama

kali diluncurkan di Afrika Selatan pada tahun 1981, teknologi produksi biodiesel berkembang sangat pesat.

Terdapat tiga metode dasar produksi ester dari minyak/lemak:

- 1) Transesterifikasi dengan katalis basa
- 2) Esterifikasi dengan katalis asam
- 3) Katalis enzimatik

Setiap reaksi memiliki parameter operasi (suhu, tekanan) yang optimal dan konversi yang terkait, meskipun banyak literatur menyebutkan bahwa rute katalis basa yang diklaim paling ekonomis. Gambar 2.2 memperlihatkan reaksi transesterifikasi dengan katalis basa.



Sumber : Wirawan et. al., (2012)

Gambar 2.2 Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa

Seperti dijelaskan sebelumnya, secara umum terdapat tiga metode reaksi katalitik dasar produksi ester dari minyak/lemak

yaitu transesterifikasi dengan katalis basa, esterifikasi dengan katalis asam dan katalisis enzimatik. Jenis reaksi katalitik pertama dan kedua telah menerima perhatian terbesar, sedangkan untuk sistem katalis enzim hingga saat ini hanya dilakukan pada skala laboratorium karena masih memerlukan waktu reaksi yang jauh lebih lama daripada metode lain (Nelson et al., 1996).

Metode reaksi katalis basa dan asam saat ini sudah diterapkan secara komersial di beberapa negara, namun metode ini masih memiliki dua masalah terkait proses, yaitu proses yang memakan waktu relatif panjang dan diperlukan proses pemurnian produk dari katalis dan saponifikasi sisa proses. Proses konvensional ini juga memerlukan biaya produksi dan energi yang tinggi. Untuk mengatasi masalah ini, (Saka & Kusdiana, 2001) mempelajari transesterifikasi minyak nabati tanpa katalis (tekanan tinggi – suhu tinggi) dalam metanol superkritis. Hasilnya, reaksi dapat diselesaikan dalam waktu yang sangat singkat, yaitu 2-4 menit.

Transesterifikasi non-katalitik trigliserida dari minyak sawit (tekanan rendah-suhu tinggi) dalam reaktor kolom gelembung pada suhu reaksi 250, 270, dan 290°C di bawah tekanan atmosfer telah dipelajari oleh (Joelianingsih et al., 2008). Hasil penelitian menunjukkan bahwa esterifikasi *Free Fatty Acid (FFA)* dan transesterifikasi trigliserida dapat dilakukan secara simultan dalam reaktor kolom gelembung. Laju reaksi esterifikasi lebih cepat daripada transesterifikasi, tetapi kandungan *FAME* dalam produk gas lebih rendah.

Tabel 2.1 Beragam metode produksi biodiesel

No	Metode	Penulis
1	Alkali-catalyzed transesterification (NaOH, KOH, NaOCH ₃)	(Darnoko & Cheryan, 2000; B Freedman et al., 1984; Bernard Freedman et al., 1985; Noureduni H. & Zhu D., 1997)
2	<i>Acid-catalysed transesterification</i> (H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄)	(Canakci & Van Gerpen, 1999; Bernard Freedman et al., 1985)
3	<i>Enzymatic catalysis (lipases enzyme: candida antartica, chromobacterium viscorum, pseudomonas cepacia, rhizopus oryzae, etc.)</i>	(Ban et al., 2001; Fukuda et al., 2001; Mittelbach, 1990; Nelson et al., 1996; Wu et al., 1999)
4	Non-catalytic process using supercritical methanol	(Demirbaş, 2002; Han et al., 2005; Saka & Kusdiana, 2001; M. D. Solikhah et al., 2024)
5	Non-catalytic process but no supercritical methanol	(Dasari et al., 2003; Diasakou et al., 1998; Yamazaki et al., 2007)

Sumber : Joelianingsih (2007)

Peneliti lain telah melaporkan hasil penelitiannya terkait kinetika dari metode reaksi transesterifikasi katalitik dan non-katalitik. Tabel 2.1 menunjukkan daftar para peneliti yang telah melakukan penelitian terkait metode produksi biodiesel baik metode reaksi transesterifikasi katalitik dan non katalitik (Joelianingsih, 2007).

Saat ini cukup banyak negara yang memiliki teknologi handal untuk proses produksi biodiesel. Amerika Serikat memiliki

Biodiesel Industries, sedangkan di dataran Eropa pabrik milik Lurgi merupakan salah satu yang cukup terkemuka. Beberapa perusahaan penyedia teknologi biodiesel skala komersial di dunia ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penyedia teknologi biodiesel komersial

No.	Perusahaan	Teknologi Proses	Bahan baku	Spec. Produk Biodiesel
1	Ballestra	Proses transesterifikasi kontinu	Minyak nabati dan jelantah	ASTM
2	BDT Biodiesel Technologies GmbH	Reesterifikasi alkali dua tahap, kontinu	Minyak nabati dan lemak hewan	ASTM
3	Biodiesel Industries	<i>Modular production</i>	Minyak nabati dan lemak hewan	ASTM
4	Biodiesel International	Teknologi proses yang telah diotomatisasi penuh	Minyak nabati dan lemak hewan	ASTM
5	Bioresource Fuel, LLC	Teknologi untuk beragam bahan baku, kontinu	Minyak nabati, lemak hewan dan jelantah	ASTM
6	BIOX Corporation	Teknologi biodiesel yang sudah dipatenkan		EN 14214 & DIN 51606
7	Crow Iron Works Company	Proses transesterifikasi kontinu	Bermacam minyak	ASTM
8	Energea Biodiesel Technology	Proses esterifikasi dan transesterifikasi kontinu	Minyak nabati, lemak hewan dan jelantah	ASTM & EN 14214
9	Imperial Western Products, Inc	Pabrik sistem tumpak	Minyak nabati dan lemak	ASTM & EN 14214

No.	Perusahaan	Teknologi Proses	Bahan baku	Spec. Produk Biodiesel
10	Lurgi PSI, Inc	Proses transesterifikasi kontinu		ASTM, EN 14214 & DIN 51606
11	Pacific Biodiesel, Inc	Sistem tumpak		ASTM & DIN 51606
12	Superior Process Technologies	Pabrik dengan proses kontinu		ASTM & DIN 51606

Sumber: BRDST (2006)

Riset biodiesel berkembang di Indonesia sejak 1990-an. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (LEMIGAS), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), dan Institut Teknologi Bandung (ITB) dapat dikatakan menjadi institusi awal yang meneliti biodiesel dari berbagai bahan baku. Peneliti Indonesia melakukan riset untuk memproduksi biodiesel dari berbagai bahan baku seperti kelapa sawit, minyak jelantah, jarak pagar dan minyak nabati lainnya. Riset yang dilakukan tidak hanya riset-riset dasar namun juga produksi skala pilot, hingga uji coba pada mesin. Beberapa industri swasta yang turut merintis pada tahap aplikasi dan komersialisasi program biodiesel diantaranya yaitu PT. Rekin, PT. Pindad, PT. Energi Alternatif Indonesia (EAI), PT. Eterindo Wahanatama dan PT. Rizki Anugerah Putra (Wirawan dan Shalikhah, 2005, ESDM, 2021).

Saat ini, produksi biodiesel di Indonesia menggunakan bahan baku dari kelapa sawit, yang memiliki produktivitas lebih tinggi dibandingkan bahan baku nabati lainnya dengan potensi produksi hingga 4,31 ton biodiesel/ha/tahun (Siregar et al.,

2013). Industri minyak sawit berkontribusi signifikan terhadap pembangunan nasional, dengan menyumbang 37% minyak nabati yang dikonsumsi dunia (Harahap et al., 2020). Produksi minyak sawit global meningkat dari 15 juta ton pada 1995 menjadi lebih dari 72 juta ton pada 2020. Lebih dari 66% minyak sawit yang diproduksi di Indonesia diekspor ke China, India, dan Uni Eropa dengan nilai ekspor mencapai USD 22,97 miliar pada 2020, serta berkontribusi sekitar 16% terhadap produk domestik bruto. Indonesia telah menjadi pemasok minyak sawit terbesar dunia sejak 2007 dan menguasai sekitar 58% pangsa pasar global pada 2020. Kondisi iklim di Asia Tenggara dengan temperatur rata-rata pada 24-30°C dan curah hujan tahunan pada 1780-2280 mm merupakan kondisi optimal untuk budidaya kelapa sawit (Mukherjee & Sovacool, 2014; Xin et al., 2022).

Produsen minyak sawit Indonesia terbagi atas dua kelompok utama, yaitu perusahaan swasta dan petani kecil. Perusahaan swasta memiliki perkebunan terbesar dan menghasilkan 51% minyak sawit nasional, sedangkan sekitar 1,5 juta petani kecil menghasilkan 35% minyak sawit Indonesia (Oliphant & Simon, 2022). Meskipun jumlahnya cukup besar dan berkontribusi signifikan terhadap pembangunan nasional, industri minyak sawit juga menghadapi berbagai permasalahan terkait keberlanjutan dan produktivitas. Konflik muncul antara pendukung industri dan pegiat lingkungan mengenai eksploitasi lahan, deforestasi, konservasi lahan gambut, serta kebakaran hutan (Suhartini et al., 2022). Sekitar 25% perkebunan kelapa sawit berada di tanah gambut yang rentan menghasilkan emisi karbon (Mukherjee & Sovacool, 2014). Lebih dari 2,4 juta hektar kebun sawit milik petani kecil sudah berumur lebih dari 25 tahun sehingga produktivitasnya menurun. Biaya peremajaan mencapai 4000 USD/ha dengan masa tunggu 3-5 tahun sebelum panen, sehingga banyak petani terkendala modal (Hendrawan

& Musshoff, 2024). Pemerintah merespons dengan Program Peremajaan Sawit Rakyat (PSR) melalui BPD PKS, dengan target 500.000 ha pada 2022 yang ditingkatkan menjadi 2,4 juta ha pada 2025. Namun hingga 2022, realisasi baru 54,7% (Siregar et al., 2024). Permasalahan hukum terkait hak lahan, keterbatasan bahan tanam, tenaga kerja, dan modal menjadi faktor utama penghambat. Salah satu strategi efektif adalah *replanting* bertahap sekitar 4% area per tahun untuk menjaga produktivitas tanpa memperluas lahan yang berisiko meningkatkan deforestasi (Zhao et al., 2023).

C. Teknologi Biodiesel Masa Depan

Biodiesel dapat diaplikasikan langsung dalam bentuk biodiesel murni (B100) atau dalam bentuk campuran dengan komposisi tertentu, misalnya B5 (campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak solar), B10 (10% biodiesel dengan 10% minyak solar) dan seterusnya (Setiyo et al., 2021). Karena diproduksi dari tumbuhan maka kandungan sulfur pada biodiesel sangat rendah, emisi yang dilepaskan (CO, SO_x, NO_x dan *particulate matter*) lebih rendah dari emisi bahan bakar fosil, dan lebih mudah terurai (*biodegradable*) (Zahan & Kano, 2018). Secara umum semakin besar komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar akan mempunyai dampak terhadap penurunan emisi yang lebih baik. Namun, dengan mempertimbangkan kesiapan teknologi mesin dan harga biodiesel yang fluktuatif serta lebih tinggi dibandingkan dengan harga minyak solar bersubsidi, maka implementasinya perlu ditentukan campuran dengan komposisi yang optimum dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis (Wirawan et al., 2008).

Dalam hal implementasi biodiesel, masing-masing negara mengeluarkan kebijakan batas ijin pencampuran biodiesel

dengan minyak solar yang berbeda, misalnya: Amerika Serikat mengizinkan pencampuran hingga 20%, sedangkan di Eropa saat ini masih baru mengizinkan hingga 5%. Pada tanggal 17 Maret 2006, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), telah resmi menerbitkan Keputusan No. 3675K/24/DJM/2006 tentang Mutu dan Spesifikasi Minyak Solar Jenis Solar 48 dan Solar 51 yang berlaku di Indonesia. Keputusan ini mengatur penggunaan *FAME* maksimal 10 persen dari volume bahan bakar minyak solar yang akan dicampur. Biodiesel yang akan dicampur harus memenuhi standar biodiesel SNI 04-7182-2006 (Wirawan & Tambunan, 2006). Selanjutnya, melalui Keputusan Menteri ESDM No. 341.K/EK.01/MEM.E/2024, mulai 1 Januari 2025 Indonesia sudah mulai memberlakukan implementasi program mandatori B40 (campuran minyak solar 60% dengan biodiesel 40%) (Chrisnawan, 2025). Komposisi campuran tersebut akan ditingkatkan secara bertahap sejalan dengan kesiapan teknologi permesinan dan kesiapan suplai biodieselnya.

Dalam menentukan kebijakan komposisi campuran harus didasarkan pada suatu naskah akademis yang didukung oleh data hasil penelitian yang lengkap tentang sifat teknis, karakteristik dan dampaknya terhadap lingkungan dari setiap komposisi campuran (Bai et al., 2016; Malley & Searle, 2021). Penelitian tentang berbagai aspek implementasi biodiesel ke depan baik penelitian terkait aspek teknis produk, keekonomian hingga kebijakan perlu terus dilakukan dalam rangka keberlanjutan dari penggunaan bahan bakar biodiesel (ERIA, 2024; Wirawan et al., 2024).

Biofuel generasi pertama membutuhkan lahan pertanian yang luas untuk menghasilkan biodiesel dalam jumlah yang cukup untuk menggantikan bahan bakar fosil. Hal ini menimbulkan

persaingan dengan produksi pangan, meningkatnya pembukaan lahan, dan polusi yang terkait dengan produksi dan pemanenan pertanian (Correa et al., 2017). Untuk mengatasi hal ini, selanjutnya dilakukan diversifikasi bahan baku yang kemudian membagi biodiesel menjadi 4 generasi berdasarkan jenis bahan baku. Biodiesel generasi I, II, III, dan IV secara berturut-turut dihasilkan dari bahan baku *edible*, *non-edible*, mikroalga, dan alga yang dimodifikasi secara genetik (Prajapati et al., 2026). Teknologi produksi biodiesel juga berkembang dengan adanya 4 generasi biodiesel tersebut, masing-masing dengan karakteristik, kelebihan, dan kekurangan.

Teknologi biodiesel generasi kedua menggunakan biomassa lignoselulosa, minyak *non-edible*, dan limbah sebagai bahan baku (Ma et al., 2024). Proses seperti *hydroprocessing* digunakan untuk menghasilkan *Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)*. Kelebihan dari generasi ini adalah tidak bersaing dengan pangan dan memiliki potensi bahan baku yang lebih luas (Koizumi, 2015). Kekurangan dari generasi ini adalah teknologi masih dalam tahap perkembangan dan memerlukan investasi yang lebih besar. Bahan baku biodiesel generasi kedua memerlukan alkohol dalam jumlah besar selama proses produksi biodiesel (Singh et al., 2021). Beberapa fokus utama pada pengembangan biodiesel generasi kedua di antaranya adalah bahan baku berbiaya rendah, teknik ekstraksi minyak, rendemen minyak dari minyak nabati, teknologi konversi biodiesel, peningkatan efisiensi proses produksi, dan pengembangan katalis yang hemat biaya (Bhuiya et al., 2016).

Teknologi biodiesel generasi ketiga menggunakan mikroalga dan organisme lain yang dapat menghasilkan lipid sebagai bahan baku. Ekstraksi lipid dari mikroalga digunakan untuk produksi biodiesel. Kelebihan dari generasi ini adalah potensi

hasil yang tinggi per area dan tidak bersaing dengan lahan pangan. Namun, kekurangan utama adalah biaya produksi yang masih tinggi dan tantangan dalam skala produksi terutama untuk ketersediaan rantai pasok (Canan, 2025; Elgharbawy et al., 2025; Seetharaman et al., 2025; Senusi et al., 2024). Budidaya hanya dapat dilakukan dalam foto bioreaktor yang mahal dan tidak semua spesies mikroalga cocok untuk kultur industri. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan lebih lanjut masih diperlukan untuk meningkatkan produktivitas mikroalga secara signifikan, dan proses ekstraksi untuk membuat layak secara finansial jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel (Jacob et al., 2021).

Fokus utama penelitian terbaru ada pada biodiesel generasi keempat yang dinilai sebagai alternatif energi terbarukan yang sangat menjanjikan. Teknologi biodiesel generasi keempat melibatkan penggunaan teknologi yang lebih maju seperti biologi sintetik dan modifikasi genetik untuk meningkatkan produktivitas bahan baku. Rekayasa skala genom didefinisikan sebagai modifikasi sekuens pada setidaknya dua wilayah berbeda dari genom untuk menghasilkan fenotipe yang diinginkan. Teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi biodiesel. Kelebihan dari generasi ini adalah potensi hasil yang sangat tinggi dan efisiensi yang lebih baik dengan produksi dan kandungan lipid tinggi. Selain itu, metode ini dapat menjadi solusi pengelolaan emisi karbon (*carbon sink*), dapat tumbuh pada lahan marginal tanpa mengganggu sektor pangan, dan menghasilkan emisi *GHG* yang rendah bahkan mendekati netral. Kekurangan dari generasi ini adalah teknologi masih dalam tahap penelitian dan pengembangan (Prajapati et al., 2026; Shokravi et al., 2021).

III. RISET DAN INOVASI PRODUK BIODIESEL DALAM Mendukung TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN

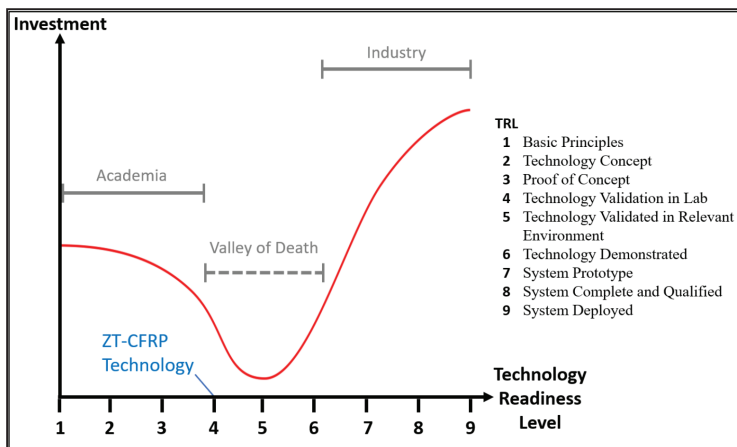
Upaya untuk meningkatkan produksi dan pemanfaatan biodiesel sebagai sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil telah dilakukan sejak awal tahun 2000 dan hingga saat ini terus dilakukan. Hal ini merupakan bagian dari strategi nasional untuk mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia (Wirawan, 2005c; Wirawan & Tambunan, 2006). Pada tahun 2006, produksi *Crude Palm Oil (CPO)* di Indonesia mencapai 16 juta ton dari 6 juta hektar lahan dengan pertumbuhan industri sekitar 12,5% per tahun sejak 1990 (Wirawan, 2007a).

Pengembangan dimulai dengan melakukan penelitian dan pengkajian tentang potensi sumber daya hayati di Indonesia yang dapat digunakan untuk produksi biodiesel. Kegiatan ini dilakukan dengan mengidentifikasi jenis tanaman yang potensial sebagai bahan baku biodiesel semisal minyak sawit. Selanjutnya dilakukan kajian teknologi pengolahan yang efisien untuk menghasilkan biodiesel dengan kualitas tinggi. Tidak hanya dalam lingkup teknis, namun juga berperan dalam mendukung implementasi biodiesel dalam skala yang lebih luas di Indonesia. Hal ini mencakup upaya untuk meningkatkan penggunaan biodiesel dalam campuran bahan bakar pada transportasi dan industri yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Dengan demikian, penggunaan biodiesel dapat berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim dan mendukung kebijakan

energi nasional yang lebih berkelanjutan (Wirawan, 2005c; Wirawan & Tambunan, 2006).

Melalui kegiatan penelitian dan pengembangan, dilakukan juga berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi produksi biodiesel, mengurangi biaya produksi, dan memastikan bahwa biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Hal ini penting untuk meningkatkan daya saing biodiesel di pasar energi dan untuk memastikan bahwa biodiesel dapat digunakan secara efektif dalam berbagai aplikasi.

Dengan demikian, peran dalam mengembangkan inovasi produk biodiesel dan mendukung implementasinya merupakan kontribusi penting dalam program transisi energi berkelanjutan di Indonesia. Upaya ini sejalan dengan tujuan untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi, dan mendukung pembangunan yang lebih berkelanjutan.



Sumber: Kirmse (2019)

Gambar 3.1 Tahapan riset berdasarkan level *TRL*

Pengembangan produk inovasi biodiesel di Indonesia melibatkan serangkaian tahapan riset yang sesuai dengan *Technology Readiness Level (TRL)*. *TRL* adalah suatu metode untuk menilai kematangan teknologi sebelum diimplementasikan dalam skala komersial. Dalam konteks biodiesel di Indonesia, tahapan ini memiliki tantangan yang dikenal sebagai “*Death Valley*”, yaitu fase kritis di mana banyak teknologi gagal untuk maju ke tahap berikutnya karena berbagai hambatan (Kirmse, 2019). Gambar 3.1 menunjukkan tahapan riset sesuai dengan *TRL*.

A. Kajian Potensi Sumber Daya Hayati (*TRL 1*)

Penelitian dan pengembangan biodiesel dimulai dengan kajian tentang potensi bahan baku berbasis sumber daya hayati Indonesia. Saat ini sumber bahan baku produksi biodiesel nasional hanya bergantung pada komoditas kelapa sawit. Padahal Indonesia memiliki kekayaan alam melimpah yang beberapa di antaranya cukup potensial digunakan sebagai bahan baku alternatif selain kelapa sawit. Misalnya *Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)* merupakan salah satu bahan baku potensial untuk produksi biodiesel yang memiliki asam lemak bebas dengan konsentrasi tinggi dan melimpah ketersediannya di Indonesia yaitu sekitar 505 ribu ton/tahun. Biodiesel dari bahan baku *PFAD* ini dapat diperoleh cukup dengan proses satu tahap yaitu esterifikasi tanpa katalis dengan menggunakan metanol. Proses ini dilakukan pada temperatur superpanas sekitar 210°C dan tekanan atmosfer dalam reaktor kolom gelembung. Proses produksi biodiesel dari *PFAD* tanpa katalis menggunakan uap metanol superpanas terbukti mampu menghasilkan *FAME* dengan konsentrasi hingga 83,9% dalam satu tahap reaksi. Nilai ini lebih tinggi dari metode sejenis sebelumnya, namun masih

di bawah Standar Nasional Indonesia (SNI) yang mensyaratkan minimal 96,5% *FAME* (Solikhah et al., 2024).

Untuk mencari alternatif bahan baku selain sawit perlu dilakukan identifikasi sumber daya hayati yang paling potensial dan ekonomis untuk biodiesel. Tantangan di tahap ini adalah memastikan bahwa sumber daya yang dipilih benar-benar layak untuk dikembangkan lebih lanjut. Bahan biodiesel berupa tanaman yang diambil ekstrak minyaknya. Di Indonesia terdapat lebih dari 40 jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber minyak nabati biodiesel, di antaranya seperti ditampilkan di Tabel 3.1 (Soerawidjaja & Tahar, 2003).

Tabel 3.1 Tanaman minyak nabati potensial di Indonesia

Nama	Nama Latin	Sumber Minyak	E / NE
Jarak pagar	<i>Jatropha curcas</i>	<i>Kernel</i>	NE
Sawit	<i>Elais guineensis</i>	<i>Pulp + kernel</i>	E
Kapok/randu	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Kernel</i>	NE
Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	<i>Kernel</i>	E
Kecipir	<i>Psophocarpus tetrag.</i>	<i>Seed</i>	E
Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Seed</i>	E
Kusambi	<i>Sleichera trijuga</i>	<i>Kernel</i>	NE
Nimba	<i>Azadirachta indica</i>	<i>Kernel</i>	NE
Saga utan	<i>Adenanthera pavonina</i>	<i>Kernel</i>	E
Akar kepayang	<i>Hodgsonia macrocarpa</i>	<i>Seed</i>	E
Gatep pait	<i>Samadera indica</i>	<i>Seed</i>	NE
Kepoh	<i>Sterculia foetida</i>	<i>Kernel</i>	NE
Ketiau	<i>Madhuca mottleyana</i>	<i>Kernel</i>	E
Nyamplung	<i>Callophyllum inophyllum</i>	<i>Kernel</i>	NE
Randu alas	<i>Bombax malabaricum</i>	<i>Seed</i>	NE
Seminai	<i>Madhuca utilis</i>	<i>Kernel</i>	E
Siur (-siur)	<i>Xanthophyllum lanceatum</i>	<i>Seed</i>	E

Nama	Nama Latin	Sumber Minyak	E / NE
Tengkawang. Terindak	<i>Isoptera borneensis</i>	<i>Kernel</i>	E
Bidaro	<i>Ximenia Americana</i>	<i>Kernel</i>	NE
Bintaro	<i>Cerbera manghas/odollam</i>	<i>Seed</i>	NE
Bulangan	<i>Gmelina asiatica</i>	<i>Seed</i>	NE
Cerakin/Kroton	<i>Croton tiglium</i>	<i>Kernel</i>	NE
Kampis	<i>Hernandia peltata</i>	<i>Seed</i>	NE
Kemiri cina	<i>Aleurites trisperma</i>	<i>Kernel</i>	NE
Nagasari (gede)	<i>Mesua ferrea</i>	<i>Seed</i>	NE
Sirsak	<i>Annona muricata</i>	<i>Kernel</i>	NE
Srikaya	<i>Annona squamosa</i>	<i>Seed</i>	NE

Catatan: E $\equiv$ *Edible fat/oil*, NE $\equiv$ *Non-Edible fat/oil*

Sumber: Soerawidjaja & Tahar (2003)

Pada prinsipnya, berbagai minyak nabati tersebut dan lemak hewani bisa menjadi bahan baku biodiesel. Namun, dari beberapa bahan baku tersebut, baru minyak sawit yang paling siap dari sisi ketersediaan karena industrinya sudah mapan dengan pengalaman lebih dari seabad. Saat ini Indonesia adalah produsen *CPO* terbesar nomor satu di dunia, dengan jumlah produksi menurut data tahun 2024 mencapai 53.395 juta ton, di mana sebesar 23.859 juta ton (39%) untuk memenuhi kebutuhan domestik dan sisanya sebesar 29.536 juta ton (49%) untuk ekspor. Untuk produksi biodiesel di tahun 2024 mengambil 20% dari alokasi *CPO* domestik yaitu sebesar 11.447 ton (Gunawan, 2025).

Sebuah studi dilakukan untuk mengkaji evolusi kebijakan minyak sawit di Indonesia melalui penelitian kerangka kelembagaan dari tahun 1957 hingga 2022. Hasil dari kajian menunjukkan bahwa transformasi kelembagaan minyak

sawit di Indonesia dipengaruhi oleh tekanan jaringan minyak sawit internasional, pengaruh kekuatan politik domestik, dan komitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (Astari et al., 2025). Studi tentang kebijakan pemerintah dalam pengembangan biodiesel dilakukan untuk mempertimbangkan dampak lingkungan terkait potensi perluasan lahan untuk perkebunan kelapa sawit sebagai konsekuensi yang dapat diperkirakan dari pemenuhan permintaan *CPO* yang lebih tinggi karena implementasi kebijakan biodiesel yang progresif. Secara keseluruhan, temuan menunjukkan bahwa kebijakan yang lebih progresif menimbulkan makroekonomi dan lingkungan yang lebih besar. Hal ini akan mengembangkan peta jalan yang jelas untuk tingkat pencampuran biodiesel yang optimal guna memberikan ketahanan energi dan dampak ekonomi dan lingkungan yang diinginkan (Halimatussadiah et al., 2021).

Untuk itu perlu dilakukan pencarian solusi alternatif potensi bahan baku biodiesel non sawit dan non pangan. Sebagai contoh, jarak pagar dan *Calophyllum* adalah bahan baku non pangan yang diharapkan berpotensi menjadi alternatif bahan baku biodiesel non sawit. Beberapa penelitian tentang jarak pagar dari mulai potensi hingga peralatan prosesnya telah dilakukan (Wirawan, 2007b, 2009). Kajian terkait potensi jarak pagar yang lebih mendalam melalui metode *Life Cycle Analysis (LCA)* dibandingkan dengan minyak sawit juga telah dilakukan (K. Siregar et al., 2019; K Siregar et al., 2012; Kiman Siregar et al., 2015). Pendekatan *LCA* dilakukan untuk membandingkan produksi dan performa energi biodiesel dari kelapa sawit dan jarak pagar. Produksi biodiesel dari kelapa sawit menghasilkan lebih banyak biodiesel tiap hektar daripada jarak pagar. Namun jarak pagar memiliki keunggulan lingkungan yang lebih tinggi, terutama terkait efisiensi energi dan pengurangan emisi di tahap produksi stabil. Biodiesel berbasis kelapa sawit memiliki

net energy balance sebesar 146.948,08 MJ/t BDF, sedangkan biodiesel berbasis jarak pagar hanya sebesar 39.334,79 MJ/t BDF. *Global Warming Potential (GWP)* selama 5 tahun masa tanam biodiesel sawit sebesar 1109,42 kg-CO₂ ekuivalen per ton biodiesel, sedangkan jarak pagar 662,85 kg-CO₂ ekuivalen (Siregar et al., 2012, 2019).

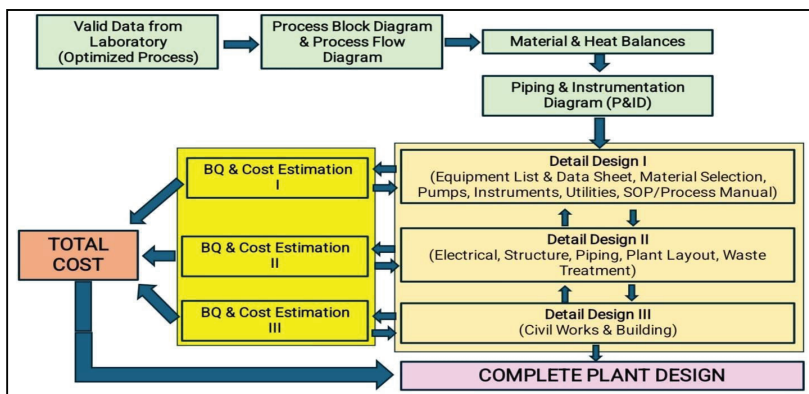
Selain unggul terkait kandungan energinya, limbah dari proses pengolahan kelapa sawit juga memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber energi, yaitu melalui metode *cofiring* batu bara kualitas rendah dengan tandan kosong dan pelepah sawit (Prayoga et al., 2024; Ruhayat et al., 2022). Meskipun kelapa sawit unggul dalam produktivitas, aspek lingkungan dari jarak pagar lebih baik sehingga dapat dijadikan alternatif berkelanjutan jika mitigasi agro-kimia dan efisiensi energi ditingkatkan (Wirawan et al., 2008). Setelah mencapai stabilitas produksi, emisi pembakaran biodiesel dari kelapa sawit sebesar 1.511,96 kg-CO₂eq/ton biodiesel dan sebesar 380,52 kg-CO₂eq/ton biodiesel untuk jarak pagar (Siregar et al., 2010). Meskipun jarak pagar memiliki keunggulan, tetapi dari kajian dan implementasi beberapa proyek percontohan, pemanfaatan jarak pagar secara komersial belum layak dan masih membutuhkan penelitian yang mendalam di sisi hulu. Beberapa aspek perlu dikaji mencakup ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan, harga, hingga kepastian rantai pasok dari mulai penyediaan, proses produksi hingga penggunaannya (Fatimah, 2015).

Evaluasi terhadap pelaksanaan program Desa Mandiri Energi berbasis *Calophyllum* telah dilakukan. Dari hasil evaluasi menunjukkan bahwa kegagalan program ini dikarenakan oleh ketidakberhasilan pemerintah pusat dalam mengembangkan dan mengubah lingkungan lokal sesuai dengan desain kebijakan dan melalui perubahan kepentingan masing-masing aktor

dalam proyek (Fatimah, 2015). Pengalaman dalam pelaksanaan pengembangan dan pemanfaatan biodiesel dapat dijadikan pelajaran berharga untuk mempersiapkan dengan pelaksanaan program pengembangan dan pemanfaatan *biofuel* jenis yang lain, misalnya bioetanol dan *Sustainable Aviation Fuel* (SAF). Kajian kesiapan bahan baku menjadi titik awal yang perlu dilakukan sebelum tahapan kebijakan pemanfaatan secara luas diterapkan. Kajian terhadap kelayakan dan potensi tanaman sorgum untuk dijadikan industri bioetanol berstandar bahan bakar juga telah dilakukan. Hasil kajian menunjukkan masih perlu penelitian yang lebih mendalam terkait ketersediaan bahan baku untuk keberlanjutan program (Wirawan et al., 2024b; Wirawan et al., 2025).

B. Tahapan Proses Pembangunan Pabrik Biodiesel Skala Percontohan (TRL 2 – 7) Hingga Tahap Siap Digunakan Secara Komersial (TRL 8 – 9)

Kegiatan konsep desain dimulai sejak tahun 2000 dengan diawali penelitian proses pengolahan biodiesel dari bahan baku berbagai *grade CPO* dari *grade* terbaik dengan kandungan *FFA* < 5% hingga limbah minyak sawit (*CPO Parit*) yang berkadar *FFA* antara 20-70 % di laboratorium. Keputusan penggunaan bahan baku limbah diambil dengan alasan ketersediaan yang berlimpah dan saat itu belum termanfaatkan sehingga dapat menekan harga produk akhir biodiesel yang dapat bersaing dengan harga minyak solar bersubsidi. Karena belum adanya standar nasional dan ketentuan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak solar, maka produk hasil penelitian saat itu divalidasi dengan standar biodiesel yang ada di luar negeri (Wirawan, 2003).



Sumber: Wirawan (2005a, 2005b)

Gambar 3.2 Tahapan proses rekayasa rancang bangun pabrik

Setelah tahap penelitian proses di laboratorium selesai dilaksanakan dan hasil produk yang didapat sudah memenuhi standar biodiesel yang diacu, maka tahap selanjutnya adalah proses desain, pembangunan, dan pengoperasian peralatan proses (pabrik) biodiesel skala prototipe dengan kapasitas 250 liter/*batch* atau 1,5 ton/hari. Pabrik biodiesel kapasitas kecil ini pertama kali ditampilkan dan didemonstrasikan di hadapan Menteri Riset dan Teknologi pada acara Seminar Teknologi untuk Negeri tahun 2005 (Maharani Dewi Solikhah et al., 2005), yaitu acara rutin tahunan yang dilaksanakan oleh Kemenristek. Gambar 3.2 menunjukkan tahapan proses rekayasa rancang bangun pabrik (Wirawan, 2005a, 2005b). Sedangkan Gambar 3.3 memperlihatkan pabrik biodiesel skala percontohan yang pertama dibangun.



Sumber: (Solikhah et al., 2005)

Gambar 3.3 Pabrik biodiesel kapasitas 1,5 Ton/hari di laboratorium biodiesel BPPT, di Puspiptek Serpong

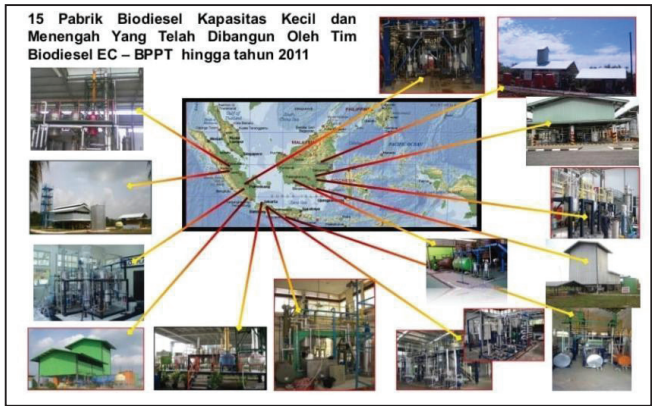
Seiring dengan meningkatnya permintaan biodiesel, pabrik biodiesel skala percontohan yang lebih besar mulai dikembangkan. Pabrik biodiesel kapasitas 8 ton/hari yang dibangun pada tahun 2006 merupakan kerjasama dengan Pemda Riau (Gambar 3.4).



Sumber: (Solikhah et al., 2005)

Gambar 3.4 Pabrik biodiesel kapasitas 8 ton/hari

Lima belas pabrik skala percontohan yang telah dibangun tersebar diseluruh pelosok Indonesia sampai dengan tahun 2011 seperti ilustrasi yang ditampilkan pada Gambar 3.5.



Sumber: (Solikhah et al., 2005)

Gambar 3.5 Pabrik biodiesel skala percontohan

Beberapa lembaga lain yang turut mengawali pengembangan desain dan peralatan proses biodiesel skala kecil, ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pabrik biodiesel skala percontohan sampai dengan tahun 2005

No.	Institusi	Kota	Kapasitas
1	Balai RDST BPPT	Jakarta	1,5 ton/hari
2	BPPT-Pemda Riau	Pekanbaru	8 ton/hari
3	PT. Energi Alternatif Indonesia	Jakarta	1 ton/hari
4	PPKS Deptan	Medan	1 ton/hari
5	Institut Teknologi Bandung	Bandung	0,6–1,0 ton/hari
6.	PT. RAP Jakarta	Jakarta	0,6 ton/hari

Sumber: Rahmadi (2005)

Setelah tahapan pembangunan prototipe skala demonstrasi (*TRL 2 – 7*) dilaksanakan, maka melalui proses promosi dan penyusunan kebijakan yang mendukung selanjutnya produk inovasi biodiesel siap digunakan secara komersial mendukung berjalannya program pengembangan dan pemanfaatan biodiesel yang berkelanjutan (*TRL 8 – 9*).

Dari tahapan penelitian konsep teknologi biodiesel (*TRL 2*), pembuktian konsep melalui eksperimen di laboratorium (*TRL 3*), hingga tahap validasi komponen atau sistem teknologi biodiesel di lapangan melalui pembangunan beberapa pabrik biodiesel skala percontohan (*TRL 4* sampai dengan *7*) hingga siap komersial (*TRL 8-9*), maka didapat beberapa kesimpulan dan rekomendasi untuk kegiatan tahap lanjut sebagai berikut (Rahmadi, 2005):

- a) Pabrik biodiesel skala besar di atas 30.000 ton per tahun telah ada dan sukses beroperasi secara teratur di berbagai negara seperti di Eropa, Amerika dan menyusul di Australia.
- b) Sampai tahun 2006 pabrik biodiesel yang ada di Indonesia hanya berukuran kecil, dengan yang terbesar berada di propinsi Riau dengan skala produksi sekitar 3.000 ton per tahun.
- c) Peluang penguasaan teknologi produksi biodiesel oleh bangsa Indonesia terbuka luas dikarenakan halangan teknologi (*technological barrier*) tidak terlalu tinggi.

Pabrik biodiesel skala komersial (100 ton/hari atau sekitar 30.000 ton/tahun) dapat dibangun berkerjasama dengan industri biodiesel kelas dunia yang sudah mapan. Sedangkan pabrik biodiesel skala kecil dengan kapasitas hingga 20 atau 30 ton/hari dapat dibangun sepenuhnya oleh fabrikator dalam negeri.

Pabrik dengan skala kecil, sangat sesuai bila digunakan pada perkebunan sawit rakyat dengan basis rakyat kecil, atau pabrik kelapa sawit besar dengan ukuran 30 sampai dengan 60 ton TBS per jam menggunakan bahan baku biodiesel yang berasal dari *CPO* parit dan hasilnya digunakan untuk keperluan sendiri.

Pengalaman pembuatan desain dan pembangunan pabrik biodiesel skala kecil, bersama dengan tim biodiesel Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BRDST-BPPT), telah tersusun sebuah buku teknis tahapan pembangunan pabrik biodiesel skala kecil (Wirawan & BRDST, 2008). Dihasilkan juga dua paten *granted* terkait proses produksi biodiesel, yaitu: paten No. ID P 0023106, tentang Pembuatan biodiesel dari *Coconut Fatty Acid Distillate (CFAD)* dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan katalis asam dan basa (Makmuri et al., 2008) dan paten ID P 0022318, tentang Pembuatan Biodiesel dari *PFAD* dengan Proses Metanolisis Menggunakan Katalis Asam dan Basa (Makmuri et al., 2006). Saat ini, untuk memenuhi program B40, terdapat 23 industri biodiesel yang tergabung dengan APROBI dengan kapasitas 19,15 juta kL/tahun (Gunawan, 2025).

C. Uji Kualitas, Unjuk Kerja, dan Emisi Bahan Bakar Biodiesel di Sektor Transportasi

Biodiesel dapat digunakan langsung berupa B100 maupun dalam bentuk campuran dengan komposisi tertentu, misalnya B5 (campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak diesel), B10, B20, dan seterusnya. Karena terbuat dari tumbuhan maka kandungan sulfur pada biodiesel sangat rendah, emisi yang dilepaskan pada umumnya lebih rendah dari emisi bahan bakar fosil dan lebih mudah terurai (*biodegradable*). Secara umum makin besar komposisi campuran biodiesel dengan minyak diesel (biodiesel-

minyak diesel) akan mempunyai dampak terhadap penurunan emisi yang lebih baik. Akan tetapi di sisi lain karena harga biodiesel saat ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan harga minyak diesel untuk transportasi umum yang bersubsidi, maka perlu ditentukan campuran dengan komposisi yang optimum dipertimbangkan dari sisi teknis dan ekonomis.

1. Kualitas Biodiesel Standar

Standar kualitas biodiesel Indonesia pertama kali ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada tahun 2006 dengan nomor SNI 04-7182-2006. Standar tersebut disusun dengan mengacu standar internasional yang telah ada sebelumnya, terutama standar Amerika dan Eropa. Tabel 3.3 menampilkan parameter dan nilai standard biodiesel SNI 04-7182-2006 (Wirawan et. al., 2008).

Tabel 3.3 Standar Biodiesel SNI 04-7182-2006

No.	Parameter Uji	SNI 04-7182-2006
1	Titik Nyala, °C min.	100
2	Air & sedimen, vol %, max.	0.05
3	Destilasi, T90, °C, max	360
4	Viskositas Kinematik, cSt 40°C	2,3 - 6,0
5	Abu, mass%, max.	0,02
6	Sulfur, wt%, max.	100
7	<i>Copper strip corrosion, max.</i>	NO.3
8	Bilangan Setana, min.	51
9	Titik Kabut °C, max	18
10	<i>Carbon Residue</i> pada 10% residu destilasi, wt%, max.	0,30
11	Lubrisitas, HFRR 60°C, micron, max	-
12	Bilangan asam, mg KOH/g, max.	0,8
13	Fosfor, wt%, max	10 mg/kg

No.	Parameter Uji	SNI 04-7182-2006
14	Gliserin Total %(m/m), max	0,24
15	Logam alkali (Na+K), ppm, max	-
16	Logam alkali (Mg+Ca), ppm max	-
17	Fraksi campuran, vol %	-
18	Stabilitas Oksidasi Termal, insoluble, mg/100 mL, max	-
19	Stabilitas Oksidasi, Waktu induksi, jam, min.	-

Sumber : Wirawan et. al., (2008)

Secara umum, standar kualitas biodiesel memuat parameter yang menentukan kinerja mesin dan keamanan mesin. Parameter yang menentukan kinerja mesin adalah viskositas, densitas dan bilangan setana. Meskipun kandungan kalori dan lubrisitas tidak terdapat pada standar, namun parameter tersebut sangat menentukan kinerja mesin ketika biodiesel dicampur dengan minyak solar.

Parameter yang menentukan keamanan operasional mesin biasanya merupakan kandungan kontaminan yang tidak diinginkan, yaitu kandungan metanol, gliserol bebas dan terikat, asam, belerang, fosfor, air dan sedimen. Biodiesel dikatakan aman jika kandungan kontaminan tersebut di bawah batas yang ditentukan dalam standar. Biodiesel yang kandungan kontaminannya telah memenuhi standar kualitas jika diterapkan dalam bentuk campuran dengan minyak diesel mineral dapat dinyatakan aman atau bebas dari risiko kerusakan mesin.

Standar biodiesel nasional ini diperbaharui terus sesuai dengan kenaikan kadar kandungan biodiesel yang dicampur dengan minyak diesel (Fajar, 2005; McCormick & Moriarty, 2023). Tabel 3.4 menunjukkan perkembangan spesifikasi biodiesel nasional menyesuaikan dengan kenaikan implementasi

kandungan biodiesel pada campuran minyak solar. Adanya standar dapat memberi jaminan keamanan dan kinerja mesin bagi pengguna. Selain itu pengguna biodiesel diharapkan memperoleh jaminan dari produsen mesin/kendaraan. Penggunaan biodiesel dengan kualitas standar pada akhirnya akan menciptakan *image* yang positif bagi pasar.

Tabel 3.4 Perkembangan spesifikasi biodiesel (B100)

No	Parameter uji	Satuan, min/ maks	B100 untuk B20, KepDirjen EBTKE 332.K/10/ DJE/2018	B100 untuk B30, KepDirjen EBTKE 189.K/10/ DJE/2019	B100 untuk B35, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024	B100 untuk B40, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850 - 890	850 - 890	850 - 890	850 - 890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	2,3 – 6,0	2,3 – 6,0	2,3 – 6,0
3	Angka setana	Min	51	51	51	51
4	Titik nyala (mangkuk tertutup)	°C, min	100	130	130	130
5	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		Nomor1	Nomor1	Nomor1	Nomor1
6	Residu karbon dalam percontoh asli; atau dalam 10% ampas destilasi	%-massa, maks	0,05 0,3	0,05 0,3	0,05 0,3	0,05 0,3
7	Temperatur destilasi 90%	°C, maks	360	360	360	360

No	Parameter uji	Satuan, min/ maks	B100 untuk B20, KepDirjen EBTKE 332.K/10/ DJE/2018	B100 untuk B30, KepDirjen EBTKE 189.K/10/ DJE/2019	B100 untuk B35, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024	B100 untuk B40, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024
8	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	0,02	0,02	0,02
9	Belerang	mg/kg, maks	50	10	10	10
10	Fosfor	mg/kg, maks	4	4	4	4
11	Angka asam	Mg-KOH/g, maks	0,5	0,4	0,4	0,4
12	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	0,02	0,02	0,02
13	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	0,24	0,24	0,24
14	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	96,5	96,5	96,5
15	Angka iodium	%-massa (g-I ₂ /100g), maks	115	115	115	115
16	Kestabilan oksidasi <i>Accelerated Method</i> atau <i>Rapid Small Scale Oxidation Test (RSSOT)</i>	Menit	480 36	600 45	660 49,5	720 54
17	Monogliserida	%-massa, maks	0,8	0,55	0,525	0,5
18	Kandungan air	mg/kg, maks	500	350	340	320
19	<i>Cold Filter Plugging Point (CFPP)</i>	°C, maks	16	15	15	15

No	Parameter uji	Satuan, min/ maks	B100 untuk B20, KepDirjen EBTKE 332.K/10/ DJE/2018	B100 untuk B30, KepDirjen EBTKE 189.K/10/ DJE/2019	B100 untuk B35, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024	B100 untuk B40, KepDirjen EBTKE 148.K/10/ DJE/2024
20	Logam I (Na + K)	mg/kg, maks		5,0	5,0	5,0
21	Logam II (Ca + Mg)	mg/kg, maks		5,0	5,0	5,0
22	Total kontaminan	mg/liter, maks		20	20	20
23	Warna		3	3	3	3

Sumber: Gunawan (2025)

2. Efek Biodiesel Pada Kinerja dan Kompatibilitas Komponen Mesin

Suatu metode sederhana berhasil dibuat untuk menghitung sifat campuran biodiesel-minyak diesel berdasarkan data sifat (*properties*) biodiesel dan minyak diesel murni. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk memvalidasi hasil pengukuran di laboratorium (Wirawan et al., 2007). Studi untuk penentuan komposisi campuran bahan bakar biodiesel-minyak diesel juga sudah dilakukan (Wirawan et al., 2008). Hasil dari studi ini menyimpulkan efek biodiesel terhadap kondisi mesin dalam jangka panjang merupakan parameter terpenting dalam menentukan komposisi campuran biodiesel-minyak diesel terbaik. Semakin besar kandungan biodiesel pada campuran, akan semakin turun torsi dan daya, sedangkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat. Kecenderungan meningkatnya kebutuhan konsumsi bahan bakar dan lebih rendahnya torsi dan daya dari bahan bakar biodiesel dan campurannya adalah diakibatkan oleh lebih rendahnya nilai kalor bakar biodiesel dibandingkan minyak diesel. Beberapa hal yang harus diperhatikan ketika

akan menggunakan campuran biodiesel dengan kadar tinggi (National Biodiesel Board, 2007):

- 1) Sifat aliran pada temperatur rendah (*cold flow properties*) pada campuran biodiesel tinggi akan mengakibatkan campuran biodiesel mudah membentuk gel dan akan menyumbat filter bahan bakar pada suhu rendah.
- 2) Biodiesel akan melunakkan dan merusak beberapa jenis bahan elastomer dan campuran karet. Penggunaan campuran biodiesel tinggi dapat merusak pipa karet/saluran bahan bakar dan *seal* dari pompa bahan bakar. Oleh sebab itu untuk pemakaian campuran biodiesel tinggi disarankan untuk mengganti pipa karet dan *seal* dengan bahan yang sudah kompatibel seperti pipa berbahan karet sintetis (viton).
- 3) Biodiesel memiliki sifat sebagai zat pembersih (*cleaning agent*) yang dapat melarutkan deposit yang terdapat pada dasar tangki dan saluran bahan bakar. Makin besar kandungan biodiesel dalam campuran makin meningkat daya pembersihannya. Deposit dalam bentuk padat terlarut tersebut selanjutnya akan menyebabkan penyumbatan filter bahan bakar, sehingga pada awal pengoperasian campuran biodiesel, pengguna kendaraan harus lebih sering mengganti filter bahan bakarnya.
- 4) Stabilitas oksidasi campuran akan semakin rendah. Hal ini terjadi terutama jika umur biodiesel sudah lebih dari 6 bulan. Stabilitas oksidasi yang rendah akan mengakibatkan terbentuknya banyak deposit pada saluran bahan bakar dan akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar.
- 5) Penggunaan campuran biodiesel tinggi akan menyebabkan lebih banyaknya porsi bahan bakar tidak terbakar yang

akan lolos melewati ring piston dan kemudian jatuh ke dalam pelumas mesin. Hal ini disebabkan karena nilai viskositas dan berat jenis biodiesel yang sedikit lebih tinggi daripada minyak solar. Kehadiran biodiesel dalam jumlah banyak dalam pelumas akan mengakibatkan polimerisasi dan terbentuknya deposit. Sehingga disarankan untuk mempersingkat waktu penggantian pelumas mesin.

Riset untuk meningkatkan dan menjaga kualitas biodiesel agar aman digunakan pada campuran dengan minyak solar yang kadar biodieselnnya lebih tinggi harus dilakukan. Salah satu permasalahan aplikasi biodiesel di Indonesia adalah peningkatan kadar air seiring bertambahnya masa penyimpanan produk biodiesel akibat sifat biodiesel yang higroskopis. Selain itu, di beberapa wilayah Indonesia, kelembaban juga turut mempercepat peningkatan kadar air dalam biodiesel. Beberapa inovasi sebagai upaya menghilangkan kadar air (*water removal*) pada biodiesel telah dilakukan pada skala riset. Salah satunya adalah inovasi pada proses penghilangan air dalam biodiesel menggunakan sistem termal vakum yang diperkuat dengan penukar panas. Studi ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional. Tingginya kadar air dalam biodiesel menjadi tantangan utama karena dapat menyebabkan korosi peralatan, pertumbuhan mikroorganisme, serta menurunkan performa mesin biodiesel. Penghilangan air secara optimal sangat penting guna memenuhi standar kualitas biodiesel di Indonesia. Penelitian ini melakukan evaluasi eksperimental dan ekonomi atas penggunaan dua tipe penukar panas, yaitu *shell-tube heat exchanger (STHE)* dan *plate heat exchanger (PHE)* dalam sistem vakum termal untuk penghilangan air di pabrik biodiesel kapasitas 300 L/jam. Parameter kinerja utama yang dianalisis meliputi efektivitas, jumlah unit transfer

panas (*NTU*), serta penghematan energi dan biaya yang dihasilkan. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa sistem ini mampu menurunkan kadar air biodiesel sebesar 65,8%, dari 858,5 ppm menjadi 293,5 ppm, di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan. *PHE* menunjukkan performa yang lebih unggul, dengan nilai efektivitas 86,33% dan *NTU* 6,02. Sedangkan *STHE* hanya mencapai efektivitas 70,64% dan *NTU* 2,81. Penukar panas tipe *plate* juga mempunyai area transfer panas lebih kecil, namun efisiensi transfer panasnya jauh lebih tinggi dibandingkan tipe *shell-tube*. Secara ekonomi, penggunaan *PHE* menghasilkan penghematan biaya tahunan yang lebih besar, yakni sekitar IDR 76,8 juta per tahun, dibandingkan *STHE* (Pamungkas et al., 2023).

Selanjutnya dilakukan studi pengaruh proses pemanasan vakum untuk menurunkan kadar air pada biodiesel terhadap stabilitas biodiesel. Tiga parameter utama yang dianalisis adalah kadar air, angka asam total, dan stabilitas oksidasi dengan uji sesuai standar *ASTM* dan *European Standard (EN)* terkait. Eksperimen dilakukan menggunakan biodiesel dengan kadar air awal tinggi (sekitar 950 ppm) yang dilewatkan proses pemanasan pada tekanan vakum -720 mmHg dengan variasi suhu (60, 75, 90, 105°C) dan waktu pemanasan (1–4 jam). Proses ini dirancang untuk menemukan kondisi operasi yang optimal di mana kadar air dapat turun di bawah batas maksimum spesifikasi (300 ppm) tanpa menurunkan kualitas atau stabilitas utama biodiesel sesuai kebutuhan industri maupun regulasi penggunaan B30/B40 di Indonesia. Proses pemanasan vakum pada suhu 60–105°C selama 3 jam mampu menurunkan kadar air biodiesel dari 983,6 ppm menjadi di bawah 150 ppm untuk seluruh suhu pengujian (jauh di bawah batas maksimal 300 ppm). Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu pemanasan, stabilitas oksidasi biodiesel menurun. Tidak ditemukan kenaikan angka asam total akibat

proses vakum, bahkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan senyawa asam lemak volatil dan aldehida yang keluar selama pemanasan vakum (Pamungkas et al., 2023).

Selain metode termal, penghilangan kadar air pada biodiesel dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode adsorpsi. Pemanfaatan limbah padat panas bumi *Geothermal Solid Waste (GSW)* yang kaya akan silika sebagai bahan aditif dapat memperbaiki sifat hidrogel berbasis asam akrilat *Polyacrylic Acid (PAA)*. Hidrogel *PAA* dikenal memiliki kapasitas serap air tinggi. Namun masih terbatas dalam stabilitas mekanis, sehingga diperlukan modifikasi dengan penambahan silika. Penambahan silika dari *GSW* secara signifikan meningkatkan rasio pengembangan hidrogel menjadi 112–433 g air/g hidrogel, dibandingkan dengan hidrogel tanpa *GSW* yang hanya mencapai 65 g air/g hidrogel setelah 30 jam perendaman (Pamungkas et al., 2025).

Selain itu, melalui kajian komprehensif telah dilakukan studi pada pengembangan dan potensi aplikasi komposit hidrogel alginat-selulosa- *Layered Double Hydroxide (LDH)*, khususnya *Zn/Al*-*carbon nanotubes (CNT)* sebagai material inovatif untuk pemurnian *biofuel*, khususnya dalam proses penghilangan air. Penggunaan hidrogel berbasis biopolimer (alginat dan selulosa) memberikan keuntungan berupa sifat *biodegradable*, daya serap air tinggi, serta kompatibilitas lingkungan. Penambahan *LDH* meningkatkan ketahanan termal dan sifat *flame-retardant*, sedangkan *CNT* memperkuat kekuatan mekanis dan stabilitas struktur hidrogel. Material komposit ini terbukti memiliki kemampuan menyerap air secara selektif dari *biofuel* dengan efisiensi tinggi, serta menawarkan keuntungan ekonomi dan ekologis dibanding absorben konvensional seperti silika gel dan zeolit. Proses sintesisnya melibatkan *crosslinking ionic* dengan

kalsium, pencampuran serat selulosa, serta penyertaan *LDH* dan *CNT* yang dapat dioptimalkan untuk menghasilkan hidrogel dengan kinerja mekanis, daya tahan api, dan kapasitas serap air yang superior (Solikhah et al., 2025).

Saat ini, rasio pencampuran biodiesel di Indonesia adalah sebesar 40%, menghasilkan biodiesel B40. Terdapat banyak kendala operasional di lapangan seiring peningkatan rasio pencampuran biodiesel pada minyak solar. Kompatibilitas material terhadap bahan bakar biodiesel merupakan aspek yang cukup penting untuk dikaji karena hal ini berkaitan dengan usia pakai komponen pada mesin. Penggunaan biodiesel dengan rasio pencampuran 50% hingga 100% (B50-B100) memerlukan evaluasi mendalam terhadap aspek teknis, terutama terkait parameter daya (*power*), konsumsi bahan bakar, dan dampaknya terhadap komponen mesin. Hasil penelitian kolaboratif antara Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Institut Teknologi Bandung (ITB) yang dipublikasikan dalam jurnal *Energies* melaporkan bahwa penggunaan B100 pada kendaraan berteknologi Euro4 dapat menurunkan daya sebesar 10% dan meningkatkan konsumsi bahan bakar hingga 11% (Reksowardojo et al., 2023). Penurunan efisiensi ini berimplikasi pada peningkatan biaya operasional yang signifikan bagi pengguna, sehingga perlu dipertimbangkan secara matang dalam implementasinya.

Selain aspek kinerja, dampak penggunaan B100 terhadap komponen mesin juga menjadi perhatian penting. Hasil pengujian di BRIN menunjukkan bahwa dengan kualitas B100 yang memenuhi standar B30, tingkat degradasi komponen mesin tidak terlalu signifikan, dengan interval pergantian komponen yang tidak jauh berbeda dari rekomendasi pabrikan. Namun, temuan ini bergantung pada kualitas biodiesel yang digunakan,

sehingga diperlukan adanya standarisasi ketat untuk memastikan kompatibilitas bahan bakar dengan *engine*.

Untuk meminimalkan dampak negatif dari penggunaan B100, diperlukan sinergi optimal antara produsen biodiesel dan manufaktur mesin. Kolaborasi ini dapat menghasilkan penyempurnaan sifat bahan bakar (*fuel properties*) dan penyesuaian *setting* (*engine tuning*) maupun komponen mesin untuk mengoptimalkan kinerjanya. Dengan pendekatan terintegrasi, penurunan daya, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan frekuensi pergantian komponen dapat dikendalikan pada tingkat yang masih layak secara operasional.

Evaluasi terhadap dampak pencampuran biodiesel berbasis kelapa sawit, minyak solar, dan *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO) dilakukan terhadap laju korosi pada tiga jenis logam utama, yaitu *stainless steel* 304, *carbon steel* SA 516 Gr.70, dan kuningan yang sering digunakan dalam sistem penyimpanan bahan bakar. Uji dilakukan dengan merendam spesimen logam dalam tiga jenis campuran bahan bakar (B30, B30D10, dan B40) selama 2160 jam pada suhu ruang. Studi ini mengevaluasi laju korosi logam dan perubahan kualitas bahan bakar setelah kontak lama dengan logam, seperti angka asam, kandungan air, kebersihan, dan stabilitas oksidasi. Hasilnya menunjukkan bahwa *stainless steel* 304 menunjukkan laju korosi terendah sebesar 0,576–0,646 $\mu\text{m}/\text{tahun}$ di seluruh variasi bahan bakar. Sedangkan laju korosi pada *carbon steel* SA 516 Gr.70 dan kuningan berturut-turut adalah sebesar 1,226–1,442 $\mu\text{m}/\text{tahun}$ dan 4,403–7,546 $\mu\text{m}/\text{tahun}$. Kuningan menaikkan angka asam hingga 0,35 mg KOH/g dan kandungan air hingga 893 ppm (melebihi batas spesifikasi), serta menurunkan stabilitas oksidasi hingga jauh di bawah ambang minimal standar nasional (>35 jam menjadi $\sim 0,05$ jam). *Stainless steel* 304 dan *carbon steel* SA

516 Gr.70 relatif tidak merusak mutu bahan bakar secara drastis, dengan seluruh parameter masih di bawah batas ambang standar. *Carbon steel* pada B40 memiliki stabilitas oksidasi yang sedikit lebih rendah di bawah standar (Heryana et al., 2024).

Selanjutnya, kompatibilitas dan respons elastomer *Styrene Butadiene Rubber (SBR)* dikaji terhadap campuran bahan bakar biodiesel 30% (B30), biodiesel 40% (B40), dan campuran biodiesel 30% + *Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)* 10% (B30D10) dalam skenario penyimpanan dan penanganan jangka panjang. Penelitian dilakukan melalui pengujian perendaman statis elastomer *SBR* selama 1000 jam pada suhu ruang mengikuti standar *ASTM D471*. *SBR* dengan rasio kandungan sulfur paling tinggi (*SBR3*) mengalami peningkatan massa dan volume terbesar setelah perendaman, terutama pada B40. *Swelling* massa mencapai 65,77% pada *SBR3* setelah 1007 jam. *Swelling* yang lebih rendah terjadi pada campuran B30D10, menunjukkan bahwa penambahan 10% *HVO* dapat menurunkan tingkat *swelling* *SBR* (Wimada et al., 2024).

Studi selanjutnya menganalisis dampak paparan tiga jenis elastomer yaitu *Nitrile Butadiene Rubber (NBR)*, *Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*, dan *fluoroelastomer*. Ketiga material ini dikaji terhadap perubahan karakteristik mutu campuran biodiesel berbasis kelapa sawit (B30 dan B40). Pengujian dilakukan dengan merendam ketiga elastomer tersebut di dalam biodiesel B30 dan B40 secara statis selama 1007 jam pada suhu ruang. Selama periode perendaman (pada jam ke-71, 167, 671, dan 1007), karakteristik utama campuran biodiesel dievaluasi pada parameter angka asam total, kandungan air, perubahan warna, serta stabilitas oksidasi. *NBR* menyebabkan peningkatan angka asam total biodiesel B30 dan B40 hingga 50% selama 1007 jam, meski masih berada dalam batas spesifikasi

yang diizinkan. Sedangkan *EPDM* dan fluoroelastomer justru menurunkan atau mempertahankan angka asam tetap stabil pada periode awal perendaman. Setelah 1007 jam, kandungan air pada semua sampel biodiesel meningkat, terutama pada *NBR* dan *EPDM*. Kenaikan tertinggi dicatat pada B30 dengan *NBR* (45%) dan *EPDM* (37%), sedangkan pada B40 relatif lebih rendah karena kandungan air awal yang memang lebih tinggi. Perubahan warna paling signifikan terjadi pada biodiesel yang kontak dengan *NBR* dan *EPDM*. Pada *NBR*, nilai warna meningkat melebihi batas warna maksimum (≥ 3 pada skala *ASTM*), sehingga dianggap *off spec* menurut regulasi nasional. Stabilitas oksidasi biodiesel menurun lebih dari 96% dalam 71 jam pertama setelah kontak dengan *NBR* dan *EPDM*, jauh di bawah batas minimum spesifikasi (35 jam). Fluoroelastomer tidak menunjukkan penurunan signifikan (Arisanti et al., 2024).

Aplikasi biodiesel untuk bidang pembakaran dan pembangkit energi cukup luas dan tidak hanya pada sektor otomotif saja. Saat ini, aplikasi biodiesel di Indonesia juga telah menjangkau sektor non otomotif yang terdiri atas pembangkit, kereta api, kapal, alat berat pertambangan, dan pertanian. Salah satu studi yang aplikasi biodiesel yang telah dilakukan adalah pada *boiler*. Pengaruh penggunaan campuran biodiesel berbasis minyak kelapa sawit dikaji terhadap konsumsi bahan bakar pada *boiler tipe fire tube*. Penelitian dilakukan menggunakan biodiesel dengan berbagai komposisi campuran terhadap minyak diesel mulai dari 10% hingga 100% biodiesel. Evaluasi dilakukan pada kinerja dan konsumsi bahan bakar pada *boiler* berkapasitas panas 60.000 kCal/jam serta tekanan 3 bar.

Campuran biodiesel rendah (kurang dari 20%) menghasilkan konsumsi bahan bakar yang serupa atau sedikit lebih rendah dibanding diesel murni (petrodiesel). Pada campuran biodiesel

lebih tinggi (B30, B50, B100), konsumsi bahan bakar meningkat hingga maksimum 17% pada penggunaan biodiesel murni (B100). Operasi *boiler* pada setengah beban menghasilkan konsumsi bahan bakar rata-rata 9,4% lebih rendah dibanding beban penuh, sedangkan untuk biodiesel murni pengurangannya mencapai 8,16% (Leily Nurul Komariah et al., 2013).

3. Efek Biodiesel Pada Emisi

Pengujian berbagai komposisi campuran biodiesel-minyak solar pada emisi dan unjuk kerja mesin diesel telah banyak dilakukan oleh para peneliti di dunia termasuk di Indonesia. Pada umumnya penelitian menunjukkan hasil yang sama, yaitu semakin besar kandungan biodiesel pada campuran, akan semakin turun emisi gas buang (kecuali NO_x yang cenderung meningkat). Hal yang sama juga terjadi pada torsi dan daya yang mengalami penurunan, sedangkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat (Wirawan et al., 2008). Tabel 3.5 menunjukkan besarnya perubahan pelepasan emisi gas buang akibat dari penggunaan biodiesel (terbuat dari bahan baku minyak kedelai) hasil studi yang dilakukan oleh USEPA, 2002.

Tabel 3.5 Perubahan pelepasan emisi gas buang akibat penggunaan biodiesel

Jenis Emisi	B-100	B-20
Total Hidrokarbon (THC)	-67%	-20%
Karbon Monoksida (CO)	-48%	-12%
Partikulat	-47%	-12%
NO_x	+10%	+2 s/d -2%

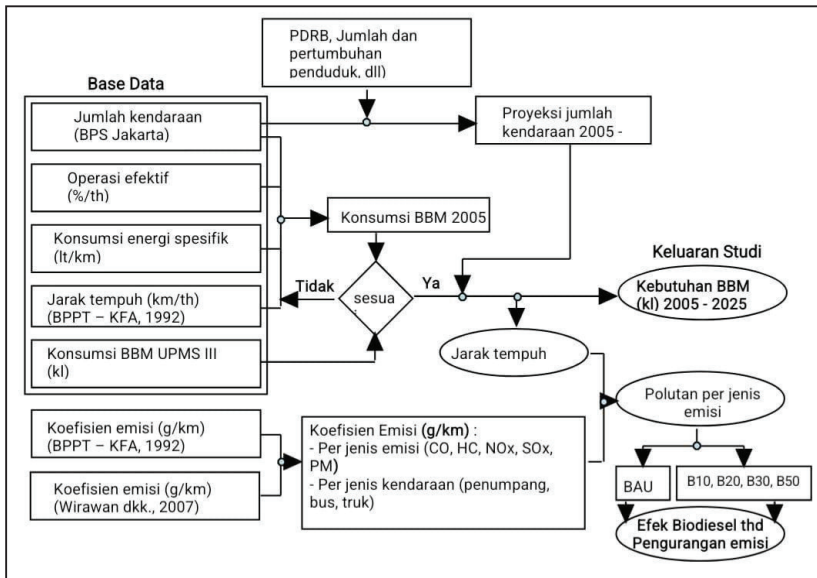
Sumber: USEPA (2002)

Kecenderungan meningkatnya kebutuhan konsumsi bahan bakar dan lebih rendahnya torsi dan daya dari bahan bakar biodiesel dan campurannya adalah diakibatkan oleh lebih rendahnya nilai bakar biodiesel dibandingkan minyak solar. Sedangkan pembentukan NO_x agak rumit dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kandungan oksigen dalam bahan bakar, ukuran *orifice* dan pengaturan waktu penginjeksian bahan bakar (*timing injection*) (Rames, et al., 2008).

Selanjutnya, perbandingan emisi gas buang dikaji dari penggunaan biodiesel sawit, campurannya (B10, B20, B30), dan minyak solar pada *boiler* industri tipe *fire tube*. Pengujian dilakukan pada tekanan 3 bar untuk mengetahui faktor emisi masing-masing bahan bakar melalui analisis laboratorium dan pengukuran langsung gas buang. Faktor emisi CO dan SO_2 pada pembakaran biodiesel jauh lebih rendah dibandingkan petrodiesel, sehingga penggunaan biodiesel berpotensi menurunkan polusi udara dari sektor industri. Emisi CO_2 dan NO_x cenderung sedikit lebih tinggi pada campuran biodiesel, namun hasil tidak selalu konsisten tergantung kadar campuran, desain/operasi *boiler*, serta parameter pembakaran. Emisi NO_x pada biodiesel murni (B100) justru menurun hingga 10–27% dibandingkan petrodiesel di beberapa skenario uji. Penurunan emisi terbesar terjadi pada CO dan *unburnt hydrocarbon*. Sedangkan peningkatan CO_2 disebabkan proses pembakaran lebih sempurna berkat kandungan oksigen tinggi pada biodiesel (Komariah et al., 2013).

Studi tentang prospek pemanfaatan biodiesel sebagai energi alternatif dalam menurunkan emisi di kota Jakarta untuk jangka panjang sudah dilakukan (Djamin & Wirawan, 2010). Studi ini dilakukan melalui metodologi kuantitatif dan kualitatif. Studi kuantitatif dilakukan dengan berdasarkan pada pengukuran

dan pengumpulan data sekunder. Studi kualitatif dilakukan melalui studi literatur untuk memperoleh informasi awal tentang penggunaan energi di kota Jakarta serta emisi yang ditimbulkan karena penggunaan energi di sektor transportasi. Dari hasil pengolahan data dan studi literatur selanjutnya dibuat model untuk menganalisis dampak penggunaan biodiesel terhadap pengurangan emisi di sektor transportasi di kota Jakarta. Emisi yang akan dipertimbangkan meliputi: Karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO_x), Hidrokarbon (HC), Sulfur oksida (SO_x), dan Partikel (PM). Secara garis besar metodologi kajian ditunjukkan pada Gambar 3.6.



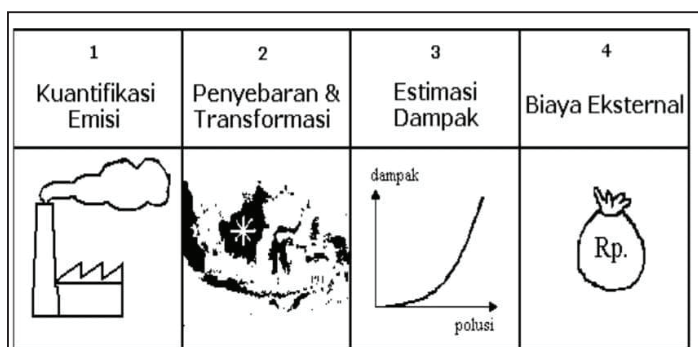
Sumber: Djamin & Wirawan (2010)

Gambar 3.6 Metode perhitungan efek biodiesel terhadap pengurangan emisi

Hasil kajian menyimpulkan bahwa secara umum penggunaan biodiesel akan menurunkan kadar emisi gas buang. Emisi gas buang menurun secara konsisten dengan kadar campuran biodiesel yang semakin besar, namun demikian karakteristiknya bervariasi tergantung dari jenis emisinya. Penurunan kadar emisi paling signifikan dengan digunakannya biodiesel terjadi pada emisi SO_2 dan PM. Untuk Skenario penggunaan B10 di tahun 2010 pada total penggunaan minyak solar untuk transportasi di DKI Jakarta, akan dapat mengurangi emisi SO_2 sekitar 7,9% (2.070 ton) dan partikel sekitar 15,62% (1.680 ton). Sedangkan dengan skenario penggunaan B50 di tahun 2025 akan diperoleh pengurangan emisi SO_2 sekitar 35,69% (16.660 ton) dan partikel sekitar 23,21%% (4.360 ton). Perkiraan besaran pengurangan emisi tersebut dapat dikatakan cukup signifikan apabila dibandingkan dengan data beban emisi di DKI Jakarta pada tahun 1998 yang menunjukkan angka 5.774 ton untuk emisi SO_2 dan 6.156 ton untuk PM (Djamin & Wirawan, 2010).

Pengujian pada pengaruh dari bahan bakar biodiesel sawit dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja (torsi, *power*, konsumsi bahan bakar spesifik) dan emisi dari kendaraan bermotor mesin diesel (Wirawan, 2011). Emisi CO, HC, dan partikel menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan campuran biodiesel. Penurunan emisi partikel sangat tajam pada campuran B10, sementara penurunan emisi HC yang tajam dimulai pada campuran B20. Hasil menunjukkan emisi NO_x yang lebih rendah serta torsi dan daya yang lebih tinggi untuk campuran biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar petrodiesel murni. Hasil ini dapat disebabkan oleh sifat biodiesel sawit yang diuji, yang memiliki angka setana lebih tinggi dan nilai viskositas lebih rendah dibandingkan sampel minyak solar (Wirawan, 2011).

Studi lebih lanjut pada rasio pencampuran biodiesel yang lebih tinggi hingga B100 juga dilakukan untuk mengevaluasi performa dan emisi pembakaran pada mesin. Peningkatan kadar biodiesel sawit dalam campuran secara umum menurunkan emisi CO, HC, partikulat, dan CO₂ dibandingkan minyak solar murni. Campuran B10-B50 justru menghasilkan daya dan torsi lebih besar dibanding minyak solar murni (B0). Sedangkan B100 memberikan daya dan torsi paling rendah. Konsumsi bahan bakar menurun atau lebih efisien seiring kenaikan kadar biodiesel. Penurunan konsumsi bahan bakar dibanding minyak solar tercatat 6% (B10), 9% (B20), 16% (B30), 22% (B50), hingga 33% (B100) (Wirawan et al., 2008).



Sumber: Sugiyono (2005)

Gambar 3.7 Metode perhitungan biaya eksternal *Impact Pathway Analysis* (IPA)

Kajian akademis yang lebih komprehensif mengenai dampak lingkungan dan ekonomi dari penggunaan biodiesel dengan studi kasus di Jakarta juga sudah dilakukan (Wirawan et al., 2012). Pada kajian ini diteliti dampak penggunaan berbagai komposisi campuran biodiesel pada minyak diesel terhadap penurunan emisi lingkungan (studi kasus Jakarta). Selanjutnya

dihitung besarnya nilai angka biaya eksternal yang dapat dibebankan kepada para pengguna kendaraan mesin diesel yang masih menggunakan bahan bakar fosil (studi kasus Jakarta). Biaya eksternal dihitung menggunakan analisis penyebaran dampak dari emisi atau lebih dikenal dengan sebutan *Impact Pathway Analysis (IPA)*. Metode ini terdiri atas empat tahapan yaitu: melakukan kuantifikasi emisi, menentukan penyebaran dan transformasi emisi untuk menghitung konsentrasi ambien, mengestimasi dampak fisik dengan menggunakan fungsi *dose respons*, dan menentukan nilai moneter dari kerusakan untuk menghitung biaya eksternal. Secara ringkas metode IPA ditunjukkan pada Gambar 3.7 (Sugiyono, 2005).

Hasil studi menyimpulkan bahwa program pengenalan biodiesel di Jakarta berpotensi meningkatkan kualitas udara. Namun, peningkatan tersebut bergantung pada pilihan rasio pencampuran karena jumlah polutan yang dipancarkan dari mesin diesel menurun drastis pada persentase awal rasio pencampuran, tetapi tetap stabil seiring dengan peningkatan komposisi campuran biodiesel. Hasil yang diperoleh dari model menunjukkan bahwa B20 merupakan rasio pencampuran optimal yang cocok untuk mesin diesel tanpa modifikasi. Pemanfaatan B20 pada tahun 2025 dibandingkan dengan kasus non-biodiesel (kasus dasar) berpotensi mengurangi 10,8 ribu ton SO_2 , 2,9 ribu ton NO_x , 17,2 ribu ton HC, 2,8 ribu ton PM, dan 23,5 ribu ton CO_2 . Aspek kedua dalam kesimpulan ini adalah bahwa analisis biaya eksternal terkait peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan yang dipengaruhi oleh pemanfaatan biodiesel di sektor transportasi di Jakarta telah diidentifikasi menggunakan simulasi model. Pemanfaatan B10 dan B20 pada tahun 2010 dibandingkan dengan non-biodiesel (kasus dasar) dapat mengurangi total biaya eksternal sebesar 13,4 dan 59,0 miliar rupiah, dan meningkat

sebesar 25,2 dan 105,7 miliar rupiah pada tahun 2025. Pengurangan biaya eksternal ini dapat mencapai nilai maksimumnya sebesar 447,7 miliar rupiah ketika B100 diperkenalkan pada tahun 2025.

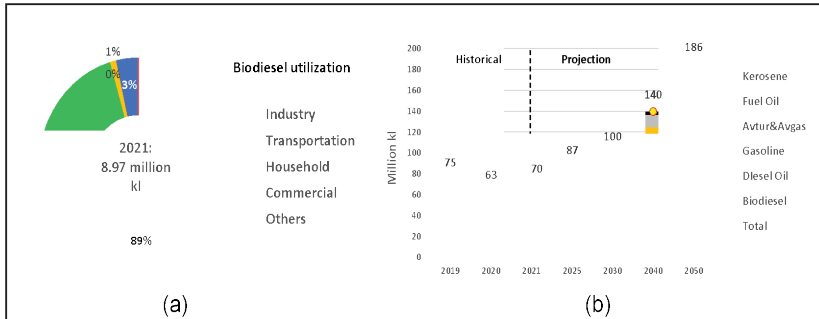
IV. PELUANG, TANTANGAN, SERTA REKOMENDASI PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN BIODIESEL BERKELANJUTAN

Saat ini campuran biodiesel di Indonesia telah mencapai rasio hingga 40% yang digunakan untuk bahan bakar sektor otomotif maupun non-otomotif. Nilai ini menempatkan Indonesia sebagai pengguna biodiesel terbesar di level global. Kebutuhan biodiesel nasional ataupun pada skala global diproyeksikan akan terus meningkat dengan adanya komitmen bersama menuju *NZE*. Oleh karena itu, perlu dikaji peluang dan tantangan serta strategi dan rekomendasi yang tepat untuk mendorong keberlanjutan implementasi program biodiesel di masa depan.

A. Proyeksi Kebutuhan Biodiesel Ke Depan

Pangsa penggunaan biodiesel untuk jangka panjang cukup besar dibanding dengan BBM yang lain. Sektor transportasi yang paling besar menggunakan biodiesel karena masih banyak digunakan truk dan kendaraan berat lainnya. Biodiesel juga masih banyak digunakan di sektor industri karena masih banyak peralatan industri yang berbahan bakar diesel. Sedangkan sektor komersial, dan lainnya (*agriculture, construction and mining*) masih membutuhkan biodiesel meskipun pangsaanya tidak begitu besar. Pangsa kebutuhan biodiesel (murni) pada tahun 2021 dan proyeksi kebutuhan BBM untuk kurun waktu 2021-2050 ditunjukkan pada Gambar 4.1 (Wirawan et al., 2024). Penggunaan biodiesel sebesar 8.97 juta kl di tahun 2021 akan meningkat terus mengikuti kenaikan kandungan biodiesel pada

bahan bakar campuran dengan minyak solar hingga mencapai 50 an juta kl di tahun 2050.



Sumber: Wirawan et al., (2024)

Gambar 4.1 (a) Pangsa kebutuhan biodiesel dan (b) proyeksi kebutuhan BBM

B. Peluang dan Tantangan

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan biodiesel sebagai alternatif energi yang berkelanjutan. Dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, terutama minyak sawit, Indonesia dapat memanfaatkan biodiesel sebagai salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Penerapan B40 telah menunjukkan hasil positif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan kemandirian energi nasional. Selanjutnya pemerintah sudah berencana untuk meningkatkan programnya menjadi B50.

Pengembangan biodiesel di Indonesia memiliki beberapa implikasi positif, antara lain:

- 1) Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil: Biodiesel dapat mengurangi ketergantungan Indonesia pada bahan bakar fosil, sehingga meningkatkan kemandirian energi nasional.
- 2) Mengurangi emisi gas rumah kaca: Biodiesel dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, sehingga membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Program B40 berkontribusi mengurangi emisi GRK CO₂ hingga sebesar 42 jt ton CO₂ eq (12% dari target *enhanced NDC* energi untuk tahun 2030) dan penghematan devisa dari impor minyak solar Rp. 147.5T (USD 9.33 M) (Gunawan, 2025).
- 3) 3. Meningkatkan kesejahteraan masyarakat: Pengembangan biodiesel dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat, terutama petani kelapa sawit, dengan menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan.

Namun, pengembangan biodiesel juga memiliki beberapa tantangan, antara lain:

- 1) Menjamin ketersediaan bahan baku yang stabil dan berkualitas tinggi sangat penting dalam pengembangan biodiesel berkelanjutan.
- 2) 2. Harga biodiesel yang kompetitif dengan bahan bakar fosil sangat penting untuk meningkatkan adopsi biodiesel.
- 3) 3. Pengembangan teknologi produksi biodiesel yang efisien dan ramah lingkungan sangat penting untuk meningkatkan kualitas biodiesel.

C. Strategi dan Rekomendasi Pelaksanaan Program Implementasi Biodiesel Ke Depan

Berdasarkan analisis di atas, beberapa rekomendasi untuk pengembangan biodiesel berkelanjutan di Indonesia adalah: meningkatkan ketersediaan bahan baku yang stabil dan berkualitas tinggi, meningkatkan efisiensi produksi biodiesel melalui pengembangan teknologi produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, meningkatkan harga kompetitif biodiesel, meningkatkan kesadaran masyarakat tentang manfaat biodiesel melalui kampanye edukasi dan promosi serta meningkatkan kerjasama antar lembaga, seperti pemerintah, industri, dan akademisi, untuk meningkatkan pengembangan biodiesel berkelanjutan.

1. Sinergi Antar *Stakeholder* Terkait

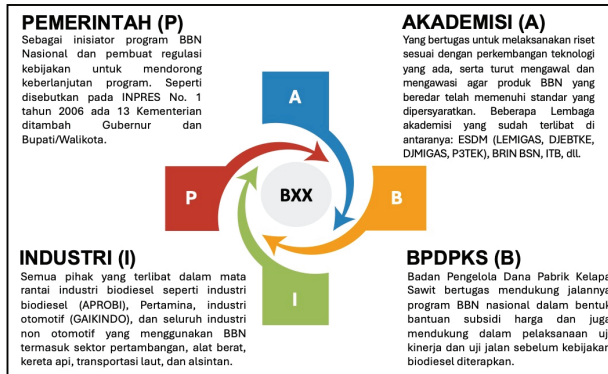
Tahapan terakhir dari pengembangan suatu produk inovasi biodiesel adalah tahap di mana sistem teknologi biodiesel telah lengkap dan memenuhi kualifikasi untuk operasional komersial. Tantangan di tahap ini termasuk mengatasi masalah sertifikasi, kepatuhan terhadap standar kualitas, dan pemasaran biodiesel (*TRL* 8 dan 9). Agar supaya produk inovasi dapat sampai ke pasar, tidak hanya dibutuhkan kesiapan teknis dari produk biodieselnnya saja, namun untuk keberlanjutan dari program pemanfaatan biodiesel tersebut perlu didukung oleh semua *stakeholder* dan kebijakan yang terkait dari mulai hulu penyiapan bahan baku nabatinya hingga produk siap diterima oleh penggunanya.

Seperti disebutkan di dalam Instruksi Presiden Nomor 1 tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Sebagai Bahan Bakar Lain, dari sisi pemerintah sebagai regulator, Presiden Republik Indonesia menginstruksikan

kepada 12 kementerian, gubernur, dan walikota/bupati terkait sebagai berikut :

- 1) Menteri Koordinator Bidang Perekonomian
- 2) Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
- 3) Menteri Pertanian
- 4) Menteri Kehutanan
- 5) Menteri Perindustrian
- 6) Menteri Perdagangan
- 7) Menteri Perhubungan
- 8) Menteri Negara Koperasi dan Usaha Kecil Menengah
- 9) Menteri Negara Badan Usaha Milik Negara
- 10) Menteri Dalam Negeri
- 11) Menteri Keuangan
- 12) Menteri Negara Lingkungan Hidup
- 13) Gubernur
- 14) Bupati/Walikota

Langkah pelaksanaan percepatan penyediaan dan pemanfaatan *biofuel* sebagai bahan bakar lain oleh pemerintah perlu didukung oleh mitra terkait yaitu para akademisi, industri dan lembaga keuangan seperti dilukiskan dalam Gambar 4.2. Tujuannya adalah agar bahan bakar nabati yang beredar sudah memenuhi standar yang berlaku dan siap untuk diproduksi dan didistribusikan ke masyarakat oleh industri.



Sumber: Diolah dari berbagai sumber

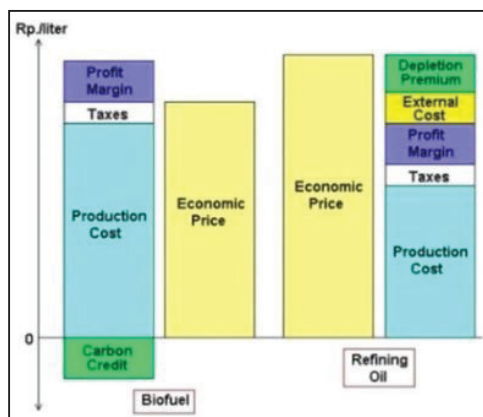
Gambar 4.2 Sinergi antar *stakeholders* biodiesel

Beberapa penugasan di lembaga terkait kegiatan percepatan program *biofuel* nasional telah dilaksanakan, di antaranya menjadi Anggota Tim Koordinasi Pengembangan Pilot Proyek Desa Mandiri Energi (DME) kementerian dalam negeri tahun 2010, Anggota Tim Teknis Kegiatan Forum Komunikasi Industri CPO dan Turunannya, Kementerian Perindustrian tahun 2005, Anggota Tim Pendamping Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Untuk Energi, Kementerian ESDM tahun 2005, anggota Forum Biodiesel Indonesia, tahun 2002–2008, anggota Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia, dan tahun 2010–sekarang.

2. Penerapan Kebijakan “Polluter Pay Principle” Berdasarkan Perhitungan *External Cost*

Biodiesel mempunyai kelebihan dalam hal lingkungan dibandingkan dengan BBM. Biodiesel lebih rendah mengeluarkan emisi CO_2 dan mengurangi polusi udara akibat emisi CO, HC, NO_x dan PM. Di sisi lain harga menjadi salah satu pertimbangan yang penting dalam menentukan kebijakan substitusi bahan

bakar minyak dengan bahan bakar nabati. Komponen harga tersebut akan bervariasi tidak hanya tergantung pada *production cost* dan *capital cost* namun juga kepada *environmental cost* sebagaimana direkomendasikan pada prinsip pengembangan berkelanjutan, maka implementasi dari konsep eksternalitas pada penggunaan bahan bakar minyak fosil menjadi salah satu alternatif usaha untuk mendorong pemanfaatan energi terbarukan seperti bahan bakar nabati. Berdasarkan konsep tersebut, kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh suatu kebijakan dapat dievaluasi berdasarkan nilai ekonomi atau dikenal dengan *environmental valuation*. Gambar 4.3 menggambarkan perbandingan antara struktur harga *biofuel* dengan bahan bakar minyak.



Sumber: Wirawan et al., (2012)

Gambar 4.3 Perbandingan antara struktur harga *biofuel* dengan bahan bakar minyak

Cara yang mudah untuk menginternalisasi-eksternalitas dari penggunaan biodiesel adalah dengan menambahkan nilai estimasi eksternal pada harga produk untuk dibayarkan secara

langsung oleh *polluter*, dikenal dengan prinsip “*Polluter Pay Principle*”. Besaran biaya eksternal di beberapa negara hasil studi para peneliti sebelumnya ditampilkan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Nilai biaya eksternal biodiesel dari beberapa studi

No.	Country	Feedstock	External Cost Relative to Petrodiesel (USD/Gallon)		Remarks	Reference
			B5	B100		
European						
1	France	Rapeseed	0.714		Included externalities caused by the emission of CO2, N2O, CH4, CO, VOC, SO2, NOx	Vollerbergh, 1997
2	Belgium	Rapeseed		0.06	Included externalities caused by the emission of CO2, N2O, CH4, CO, VOC, SO2, NOx, PM, did not consider health externalities	De Nocker et al, 1998
ASEAN						
3	Thailand & Vietnam	Jatropha-based palm oil blends	0.36	0.06	Included externalities associated with CO2, N2O, CH4, SO2, NOx, and PM Emissions	Le et al 2013, Silalertruksa et al 2012
Australia						
4		Canola	1.43		The emission included CO2, N2O, CG4, CO, VOC, Nox and PM	Cuevas-Cubria 2009
5		Tallow	1.58			
6		Waste Cooking Oil	2.85			
USA						
7		Soybean	0.40 - 1.61		Damages associated with local air quality effects (I.e. CO, VOC, SO2, NOx, and PM) were included	Wassel and Dittmer (2006)

Sumber : Wirawan et al., (2024)

Studi tentang efek dari pemanfaatan biodiesel pada sektor transportasi dilakukan untuk mengkaji emisi *pollutant* dan *external cost* di Jakarta (Wirawan et al., 2012). Hasil studi menunjukkan bahwa nilai eksternal yang seharusnya dibayar oleh *polluter* adalah sebesar 236 rupiah per liter (*base case*, B0) di tahun 2005 dan meningkat dengan proyeksi naiknya konsumsi bahan menjadi sebesar 317 rupiah per liter di tahun 2025. Nilai *external cost* akan meningkat dengan meningkatnya kadar campuran biodiesel pada minyak solar dimulai dari 4 rupiah per liter untuk B10 di tahun 2005 hingga 90 rupiah per liter untuk B100 pada tahun 2025.

V. KESIMPULAN

Riset penggunaan berbagai bahan baku selain minyak sawit, seperti limbah pabrik kelapa sawit (minyak parit), minyak goreng bekas, *Coconut Fatty Acid Distillate* (CFAD) dan *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) untuk menurunkan harga biodiesel telah dilakukan. Demikian juga riset terkait dengan teknologi proses produksi yang lebih efisien dan ekonomis seperti teknologi proses produksi biodiesel tanpa katalis dan lainnya telah dilakukan.

Berbagai riset untuk meningkatkan dan menjaga kualitas biodiesel agar aman digunakan pada campuran dengan minyak diesel seperti riset untuk menghilangkan/menurunkan kadar air (*water removal*) pada biodiesel dan riset kompatibilitas bahan bakar biodiesel terhadap material komponen mesin juga telah dilakukan. Dilakukan juga riset untuk mengevaluasi dampak pencampuran biodiesel berbasis kelapa sawit, minyak diesel dan *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO) terhadap laju korosi pada logam material yang digunakan dalam sistem penyimpanan bahan bakar.

Selain riset teknis terkait proses produksi dan kompatibilitas material, riset yang meneliti efek dari penggunaan biodiesel terhadap kinerja mesin dan emisi juga telah dilakukan. Hasil dari riset dapat dijadikan dasar untuk penyusunan rekomendasi pengembangan kebijakan yang mendukung seperti insentif pajak dan subsidi. Berbagai Upaya koordinasi dengan semua pihak terkait, baik pemerintah sebagai pembuat kebijakan, akademisi yang bergerak dibidang riset dan industri juga dilakukan agar program berjalan secara berkelanjutan juga telah dilaksanakan.

VI. PENUTUP

Tantangan pengembangan biodiesel dalam mendukung program transisi energi berkelanjutan adalah produksi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan biodiesel ke depan yang terus meningkat. Riset teknologi proses yang saat ini masih pada teknologi biofuel generasi pertama yaitu memanfaatkan bahan baku pangan seperti jagung, tebu, singkong dan sawit harus dikembangkan menuju kepada teknologi biofuel generasi 2 dengan menggunakan bahan baku non pangan, generasi ketiga menggunakan mikroalga dan generasi ke empat menggunakan alga yang dimodifikasi secara genetik.

Meningkatnya produksi biodiesel akan diikuti dengan meningkatnya produk gliserol yang dihasilkan, maka perlu dilakukan riset terkait pemanfaatan limbah gliserol menjadi produk yang bernilai tambah.

Kajian dalam rangka mencari solusi kebijakan harga yang implementatif, seperti menginternalisasi eksternalitas penggunaan biodiesel dengan prinsip “*Polluter Pay Principle*” perlu dilanjutkan dengan menggunakan data terkini.

Koordinasi yang sudah baik antara Lembaga kunci seperti KESDM sebagai regulator, BPD PKS Lembaga pengelola dana sawit, akademisi (BRIN, Lemigas, ITB, dll), Industri (APROBI, GAIKINDO dan asosiasi terkait lainnya) dan PT. Pertamina Persero ditingkatkan sehingga program pengembangan dan pemanfaatan biodiesel dalam rangka mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia dapat tercapai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada akhir orasi, perkenankan saya menyampaikan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat yang dilimpahkan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan orasi ini. Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan saya menyampaikan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia Bapak Prabowo Subianto dan Presiden Republik Indonesia yang ke-7 Bapak Joko Widodo atas amanat dan penugasan saya sebagai Perekrutan Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN); Kepala BRIN, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Wakil Kepala BRIN Periode Tahun 2023 - 2025 Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., DESD., ASEAN Eng., Deputy Bidang Sumber Daya Manusia Iptek, Prof. Edy Giri Rachman Putra, Ph.D. atas kesempatan dan dukungan pada penyelesaian naskah Orasi Ilmiah; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D; dan Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah BRIN, Prof. Dr. Cuk Supriyadi Ali Nandar, ST., M.Eng., Prof. Dr. Ir. Lamhot Parulian Manalu, M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc. atas telaah dan sarannya.

Terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala Organisasi Riset Energi dan Manufaktur (OREM) – BRIN, Prof. Dr. Cuk Supriyadi Ali Nandar, S.T., M.Eng.; Kepala BOSDM BRIN, Ratih Retno Wulandari, S.Sos., M.Si., Kepala Pusat Riset Teknologi Bahan Bakar (PRTBB), Dr. Hari Setiaprada, S.T., M.Eng., Kepala

Pusat Riset Teknologi Konversi Energi (PRTKE), Tata Sutardi, ST., MT., Ph.D.; Ketua Kelompok Riset Pengembangan dan Pemanfaatan *Biofuel* - PRTBB, Maharani Dewi Solikhah, S.T.,M.Sc.

Terima kasih kepada Menristek/Kepala BPPT periode 2001-2004, Dr. (HC) Ir. M. Hatta Rajasa, Menristek periode 2004-2009, Prof. Dr. Kusmayanto Kadiman, Kepala BPPT 2004-2008, Prof. Dr. Ir. Said Djauharsyah Jenie (Alm.), periode 2008-2014, Dr. Ir. Marzan Azis Iskandar, IPU, ASEAN Eng., periode 2014-2019, Dr. Ir. Unggul Priyanto dan periode 2019-2021, Prof. Dr. Ir. Hammam Riza, IPU., atas kesempatan dan dukungan yang diberikan terkait pengembangan karir jabatan fungsional perekayasa saya.

Terima kasih kepada Prof. Ir. Himawan Adinegoro, M.Sc., Dr. Ibrahim Ahmad Ibadurrohman dan Ir. Agus Sugiyono, M.Eng. atas masukan dan saran perbaikan naskah orasi ilmiah. Kepada Sespim Kepala OREM, Ibu Wiwien; Sespim PRTBB, Ibu Henny; Sespim PRTKE, Ibu Yani; Sekretariat MPPR BRIN, Ibu Uchi Laraswati, Ibu Sabrina, Ibu Yuli dan seluruh anggota Panitia Pelaksana Pengukuhan Profesor Riset serta pihak-pihak lain yang berkenaan dengan penyelesaian naskah dan acara orasi ilmiah ini.

Dalam menjalani pendidikan, tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada guru-guru SD, SMP, dan SMA yang telah membimbing dalam menempuh pendidikan dasar dan menengah.

Ucapan terima kasih kepada Prof., Dr. Ir., Pratikto, MMT. yang telah membimbing penulis hingga lulus S1 Teknik Mesin di UNIBRAW Malang, kepada Prof. Wataru MASUDA selaku *Academic Advisor* ketika penulis mengambil pendidikan S2 jurusan *Mechanical System Engineering* di *Nagaoka University of Technology*, di Jepang, kepada Prof. Dr. Armansyah H.

Tambunan (Alm.), Prof. Dr. Ir. Martin Djamin, MSc., APU, Prof. Dr. Hiroshi Nabetani dan Prof. Dr. Ir. Arief Sabdo Yuwono, M.Sc. selaku pembimbing studi S3 di Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih kepada seluruh rekan-rekan yang telah bersama-sama memulai dan hingga saat ini terus mengawal program *biofuel* nasional. Kepada Dr. Agus Rusyana Hoetman dan Drs. Agus Salim Dasuki, M.Eng. serta teman teman seperjuangan di Engineering Center BPPT yang sejak tahun 2000 memulai kegiatan riset produk inovasi biodiesel hingga saat ini tergabung di Kelompok Riset Pengembangan dan Pemanfaatan *Biofuel* BRIN, masih konsisten membantu mengawal implementasi penggunaan campuran bahan bakar diesel dengan kadar biodiesel yang terus meningkat.

Terima kasih kepada seluruh mitra ekosistem inovasi *biofuel* nasional, di KESDM (Dirjen EBTKE, pimpinan dan staf di Direktorat Bioenergi, LEMIGAS, P3TEK), Rekan-rekan di Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, Kementerian Perindustrian, Kementerian Dalam Negeri dan kementerian terkait lainnya. Rekan-rekan di Perguruan Tinggi (Institut Teknologi Bandung, Institut Pertanian Bogor, Universitas Indonesia, Universitas Gajah Mada, Universitas Brawijaya). Rekan-rekan seperjuangan di IKABI (Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia), APROBI (Asosiasi Produsen *Biofuel* Indonesia), BDPDKS (Badan Pengelola Dana Pabrik Kelapa Sawit), GAIKINDO (Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia), Rekan-rekan di PT. Pertamina Persero dan kepada seluruh lembaga dan organisasi terkait dengan pengembangan

dan pemanfaatan *biofuel* nasional yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Kepada para undangan, hadirin, dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah hadir memberikan dukungan kepada saya, saya ucapkan terima kasih.

Saya menghaturkan terima kasih kepada kedua orang tua, Bapak S. Anjar Sumyana (alm.) dan Ibu Hj. Koes Anjar Sumyana (almh.), yang telah sabar dan penuh iktlas dalam membesarkan, membimbing, mendidik, dan memberikan doa atas pencapaian saya selama ini.

Untuk istriku, Ika Sandra, dan anak-anakku, Nike Nadia bersama suami (Rizky A. Prabowo), Noval Hudiya, Dafa Fadiya, dan Daniya Fathiya, papa ucapkan terima kasih atas dukungan dan doanya yang tiada henti.

Terima kasih kepada Bapak/Ibu mertua, Bapak H. S. Soedradjat (alm.), Ibu Hj. Tien S. (Almh), kepada kakak-kakak (Tera dan Yuyun) dan adik (Adnan) tercinta atas dukungan serta doanya.

Akhir kata, semoga orasi ilmiah saya bermanfaat, khususnya untuk keberlanjutan pengembangan dan pemanfaatan *biofuel* dalam mendukung program transisi energi di Indonesia dan untuk keberlanjutan pengembangan dan pemanfaatan pengembangan teknologi di bidang energi secara umumnya. Dengan mengucapkan Alhamdulillah Rabbil ‘Aalamiin, saya akhiri orasi ini dan mohon maaf atas segala kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikannya. Wabillaahitaufiq Walhidayah. Wassalaamualaikum warahmatullaahi wa barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, H. B., Mahlia, T. M. I., Chong, W. T., Nur, H., & Sebayang, A. H. (2016). Second generation bioethanol production: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 631–653. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.015>
- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragon-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M., & Zickfeld, K. (2018). Framing and Context. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (Vol. 16, Issue 2, pp. 49–92). Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/9781009157940.003>
- Anditya, C., Lasnawatin, F., Prananto, A. B., Halim, L., Anutomo, I. G., Anggreani, D., Indarwati, F., Yusuf, M., Ambarsari, L., & Yuanningrat, H. (2023). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023*. Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources. <https://www.esdm.go.id/en/publication/handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-heesi>
- Anditya, C. (2025). *Wujudkan Ketahanan Energi dan Kurangi Impor, Menteri ESDM: Mandatori B40 Berlaku 1 Januari 2025*. Esdm. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/wujudkan-ketahanan-energi-dan-kurangi-impor-menteri-esdm-mandatori-b40-berlaku-1-januari-2025>
- Arisanti, A. G., Pratiwi, F. T., Wimada, A. R., **Wirawan, S. S.**, & Solikhah, M. D. (2024). Novel Findings on Elastomer Exposure Effects in Palm-Based Biodiesel Blends. *Evergreen*, 11(3), 2537–2544. <https://doi.org/10.5109/7236894>

- Ashok, B., Nanthagopal, K., & Sakthi Vignesh, D. (2018). Calophyllum inophyllum methyl ester biodiesel blend as an alternate fuel for diesel engine applications. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.03.042>
- Astari, A. J., Lovett, J. C., & Wasesa, M. (2025). Sustainable pathways in Indonesia's palm oil industry through historical institutionalism. *World Development Sustainability*, 6(229), 100200. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100200>
- Bai, A., Jobbágy, P., Popp, J., Grasselli, G., Szendrei, J., & Balogh, P. (2016). Technical and environmental effects of biodiesel use in local public transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 323–335. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.06.009>
- Ban, K., Kaieda, M., Matsumoto, T., Kondo, A., & Fukuda, H. (2001). Whole cell biocatalyst for biodiesel fuel production utilizing *Rhizopus oryzae* cells immobilized within biomass support particles. *Biochemical Engineering Journal*, 8(1), 39–43. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00133-9](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00133-9)
- Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashwath, N., & Azad, A. K. (2016). Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel - Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1109–1128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.163>
- Blin, J., Brunschwig, C., Chapuis, A., Changotade, O., Sidibe, S. S., Noumi, E. S., & Girard, P. (2013). Characteristics of vegetable oils for use as fuel in stationary diesel engines - Towards specifications for a standard in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 580–597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.018>

- BPS. (2025). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribu Jiwa)*, 2025. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun--ribu-jiwa-.html>
- Canakci, M., & Van Gerpen, J. (1999). Biodiesel production via acid catalysis. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 42(5), 1203–1210. <https://doi.org/10.13031/2013.13285>
- Canan, A. (2025). Enrichment of 3rd generation biodiesel/diesel blends with optimum boron oxide for cleaner diesel emissions by multi-objective optimization using RSM. *Environmental Research*, 276(March), 121472. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121472>
- Correa, D. F., Beyer, H. L., Possingham, H. P., Thomas-Hall, S. R., & Schenk, P. M. (2017). Biodiversity impacts of bioenergy production: Microalgae vs. first generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(December 2016), 1131–1146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.068>
- Darnoko, D., & Cheryan, M. (2000). Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(12), 1263–1267. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0198-y>
- Dasari, M. A., Goff, M. J., & Suppes, G. J. (2003). Noncatalytic alcoholysis kinetics of soybean oil. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(2), 189–192. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0675-3>
- Demirbaş, A. (2002). Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. *Energy Conversion and Management*, 43(17), 2349–2356. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00170-4)
- Diasakou, M., Louloudi, A., & Papayannakos, N. (1998). Kinetics of the non-catalytic transesterification of soybean oil. *Fuel*, 77(12), 1297–1302. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)00025-8](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)00025-8)

- Djain, M., & S. Wirawan, S. (2010). Pengaruh Komposisi Biodiesel Terhadap Kinerja Mesin Dan Emisi Gas Buang. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(3), 381–387. <https://doi.org/10.29122/jtl.v11i3.1183>
- Elgharbawy, A. S., Farghali, M., Osman, A. I., Hanafy, M. A., & Al-Muhtaseb, A. H. (2025). Innovative biodiesel production for sustainable energy: Advances in feedstocks, transesterification, and cost efficiency. *Biomass and Bioenergy*, 201(October 2024), 108114. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108114>
- ENDC. (2022). *Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia*. <https://www.icctf.or.id/wp-content/uploads/2023/02/Enhanced-National-Determined-Contribution-ENDC-Republic-of-Indonesia.pdf>
- ERIA. (2024). *Developing Biofuel-Based Road Transport Industry Market Penetration Assessment of Biodiesel (B100) and Bioethanol (E100) as Road Transport Fuels in Indonesia*. 13, 163.
- Fajar, R. (2005). *Efek Penggunaan Biodiesel Kalitas Standar Indonesia terhadap Unjuk Kerja Mesin Kendaraan Penumpang*.
- Fatimah, Y. A. (2015). Fantasy, values, and identity in biofuel innovation: Examining the promise of Jatropha for Indonesia. *Energy Research and Social Science*, 7, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.04.002>
- Freedman, B, Pryde, E. H., & Mounts, T. L. (1984). Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(10), 1638–1643. <https://doi.org/10.1145/3017680.3017802>
- Freedman, Bernard, Butterfield, R. O., & Pryde, E. H. (1985). Transesterification Kinetics of Soybean Oil. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(10), 1375–1380.

- Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405–416. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)
- Gopinath, A., Sairam, K., Velraj, R., & Kumaresan, G. (2014). Effects of the properties and the structural configurations of fatty acid methyl esters on the properties of biodiesel fuel: a review. *Journal of Automobile Engineering*, 229(3), 1–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0954407014541103>
- Gunawan, E. (2025). *Kesiapan Industri Pendukung Kegiatan Program Mandatori Biodiesel*.
- Halimatussadiyah, A., Nainggolan, D., Yui, S., Moeis, F. R., & Siregar, A. A. (2021). Progressive biodiesel policy in Indonesia: Does the Government's economic proposition hold? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150(July), 111431. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111431>
- Han, H., Cao, W., & Zhang, J. (2005). Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and CO₂ as co-solvent. *Process Biochemistry*, 40(9), 3148–3151. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.014>
- Harahap, F., Leduc, S., Mesfun, S., Khatiwada, D., Kraxner, F., & Silveira, S. (2020). Meeting the bioenergy targets from palm oil based biorefineries: An optimal configuration in Indonesia. *Applied Energy*, 278(May), 115749. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115749>
- Hendrawan, D., & Musshoff, O. (2024). Smallholders' preferred attributes in a subsidy program for replanting overaged oil palm plantations in Indonesia. *Ecological Economics*, 224(August 2023), 108278. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108278>

- Heryana, Y., Pamungkas, A., Romelan, R., Solikhah, M. D., Matheofani, Barus, B. R., Wibowo, C. S., Supriyadi, F., Thahar, A., Wibowo, E., & **Wirawan, S. S.** (2024). Evaluation of Corrosion Effects in Diesel-Biodiesel and Diesel-Biodiesel-HVO Blends on Metals for Fuel Storage Systems. *Corrosion Science and Technology*, 23(5), 352–364. <https://doi.org/10.14773/cst.2024.23.5.352>
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 143–169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>
- Ibadurrohman, I. A., Hamidi, N., Yuliati, L., Winarto, & Mikami, M. (2023). The impact of ethanol addition on the droplet combustion mechanism of saturated and unsaturated fatty acid/fatty acid methyl ester molecules. *Fuel*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126731>
- Jacob, A., Ashok, B., Alagumalai, A., Chyuan, O. H., & Le, P. T. K. (2021). Critical review on third generation micro algae biodiesel production and its feasibility as future bioenergy for IC engine applications. *Energy Conversion and Management*, 228(July 2020), 113655. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113655>
- Joelianingsih, Maeda, H., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sagara, Y., Soerawidjaya, T. H., Tambunan, A. H., & Abdullah, K. (2008). Biodiesel fuels from palm oil via the non-catalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure: A kinetic study. *Renewable Energy*, 33(7), 1629–1636. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.08.011>
- Kirmse, S. (2019). *Towards the Commercialization of a Carbon Fiber Composite Reinforced with Carbon Nanofiber Z Threads Utilizing a Hybrid Lean LaunchPad / Model-Based Systems Engineering Approach* (Issue November) [University of South Alabama]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12142.13129>

- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36–59. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>
- Koizumi, T. (2015). Biofuels and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 829–841. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.041>
- Komariah, L. N., Arita, S., Novia, **Wirawan, S. S.**, & Yazid, M. (2013). Emission factors of biodiesel combustion in industrial boiler: A comparison to fossil fuel. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(5). <https://doi.org/10.1063/1.4822036>
- Komariah, Leily Nurul, Arita, S., Novia, S., **Wirawan, S. S.**, & Yazid, M. (2013). Effects of palm biodiesel blends on fuel consumption in fire tube boiler. *Applied Mechanics and Materials*, 391, 93–97. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.391.93>
- Løkke, S., Aramendia, E., & Malskær, J. (2021). A review of public opinion on liquid biofuels in the EU: Current knowledge and future challenges. *Biomass and Bioenergy*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106094>
- Ma, Y., Zhong, W., Huang, X., Yan, F., Pachiannan, T., Yuan, W., & He, Z. (2024). A comparative study of first and second generation biodiesel blends under quaternary injection strategies for enhanced engine performance and reduced emissions. *Process Safety and Environmental Protection*, 191(July), 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.08.089>
- Malley, J. O., & Searle, S. (2021). Air Quality Impacts of Biodiesel in the United States. *ICCT White Paper, January*.
- McCormick, R., & Moriarty, K. (2023). *Biodiesel Handling and Use Guide: Sixth Edition*. www.nrel.gov/publications.
- Mittelbach, M. (1990). Lipase catalyzed alcoholysis of sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 67(3), 168–170. <https://doi.org/10.1007/BF02539619>

- Mittelbach, M., & Remschmidt, C. (2004). *Biodiesel—A comprehensive handbook*.
- Mukherjee, I., & Sovacool, B. K. (2014). Palm oil-based biofuels and sustainability in southeast Asia: A review of Indonesia, Malaysia, and Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.001>
- Nelson, L. A., Foglia, T. A., & Marmer, W. N. (1996). Lipase-catalyzed production of biodiesel. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(9), 1191–1195. <https://doi.org/10.1007/BF02523383>
- Noureduni H., & Zhu D. (1997). Kinetics of Transesterification of Soybean. *Biocatalysis Articles*, 74(11), 1457–1463.
- Oliphant, E., & Simon, A. C. (2022). The cost of sustainable palm oil: Should an Indonesian smallholder pursue RSPO-certification? *World Development Perspectives*, 26(May 2020), 100432. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2022.100432>
- Pamungkas, A., Solikhah, M. D., Pratiwi, F. T., Romelan, Matheofani, & **Wirawan, S. S.** (2023). Investigation of Biodiesel Stability under Vacuum Heating Process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1187(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1187/1/012017>
- Pamungkas, A., Solikhah, M. D., Pratiwi, F. T., Romelan, R., Jenie, S. N. A., **Wirawan, S. S.**, & Petrus, H. T. B. M. (2025). Utilization of geothermal silica to improve the properties of acrylic acid-based hydrogels: A study on swelling behavior and kinetics. *Polymer*, 335, 128802. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2025.128802>
- Pamungkas, A., Solikhah, M. D., Romelan, R., Amri, K., Kismanto, A., & **Wirawan, S. S.** (2023). Efficiency amplified: Enhancing energy performance in biodiesel vacuum thermal water removal system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 46(July), 102193. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102193>

- Pham, P. X., Nguyen, K. T., Pham, T. V., & Nguyen, V. H. (2020). Biodiesels manufactured from different feedstock: From fuel properties to fuel atomization and evaporation. *ACS Omega*, 5(33), 20842–20853. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02083>
- Prajapati, A. K., Mahajan, A., Jadhav, S. M., & Kumar, K. (2026). Fourth-generation (4G) biodiesel: Paving the way for a greener and sustainable energy future in emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 225(November 2024), 116103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116103>
- Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Pandita, P., Bhutto, J. K., Alreshidi, M. A., Ravindran, B., Yaseen, Z. M., Osman, S. M., & Cabral-Pinto, M. M. S. (2024). Review on biofuel production: Sustainable development scenario, environment, and climate change perspectives – A sustainable approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 111996. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.111996>
- Prayoga, M. Z. E., Putra, H. P., Adelia, N., Luktyansyah, I. M., Ifanda, I., Prismantoko, A., Darmawan, A., Hartono, J., Wirawan, S. S., Aziz, M., Prabowo, P., & Hariana, H. (2024). Co-combustion performance of oil palm biomass with coal: thermodynamics and kinetics analyses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149(7), 2873–2891. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12865-z>
- Rahmadi, A. (2005). *Kajian Strategi Pengembangan Industri Biodiesel dalam Rangka Pemenuhan Target Penggunaan Biodiesel sebagai Bagian Land Mark Energi*.
- Ramadhan, R., Mon, M. T., Tangparitkul, S., Tansuchat, R., & Agustin, D. A. (2024). Carbon capture, utilization, and storage in Indonesia: An update on storage capacity, current status, economic viability, and policy. *Energy Geoscience*, 5(4), 100335. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2024.100335>

- 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). <https://doi.org/10.3390/en16020718>
- Ruhiyat, A. S., Putra, H. P., Hariana, Monika, I., Wirawan, S. S., & Aminnudin. (2022). Combustion Characteristic of Low Rank Coal Blend with EFB and Plastic Waste. *Energy Proceedings*, 26, 1–5. <https://doi.org/10.46855/energy-proceedings-10131>
- Saka, S., & Kusdiana, D. (2001). Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol. *Fuel*, 80(2), 225–231. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00083-1)
- Seetharaman, S., Vasanth Kumar, P., Thiagarajan, S., Dhamodaran, G., Vikneswaran, M., Ranjith Raj, A., Mahesh, G., Josephin Js, F., Albeshr, M. F., & Varuvel, E. G. (2025). Combustion, performance, and emission analysis of hydrogen-enhanced diesel blends with Scenedesmus dimorphus biodiesel: A third-generation biofuel study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 155(June), 150312. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150312>
- Senusi, W., Ahmad, M. I., Abdul Khalil, H. P. S., Shakir, M. A., Binhweel, F., Shalfah, E., & Alsaadi, S. (2024). Comparative assessment for biodiesel production from low-cost feedstocks of third oil generation. *Renewable Energy*, 236(September), 121369. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121369>
- Setiawan, I. C., Indarto, & Deendarlianto. (2021). Quantitative analysis of automobile sector in Indonesian automotive roadmap for achieving national oil and CO2 emission reduction targets by 2030. *Energy Policy*, 150(2), 112135. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112135>
- Setiyo, M., Yuvenda, D., & Samue, O. D. (2021). The concise latest report on the advantages and disadvantages of pure biodiesel (B100) on engine performance: literature review and bibliometric

analysis. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(3), 469–490. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i3.38430>

Shokravi, H., Shokravi, Z., Heidarrezaei, M., Ong, H. C., Rahimian Koloor, S. S., Petru, M., Lau, W. J., & Ismail, A. F. (2021). Fourth generation biofuel from genetically modified algal biomass: Challenges and future directions. *Chemosphere*, 285(May). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131535>

Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Inda, C. S., Sharma, S., Sharma, P. K., & Jhalani, A. (2021). A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*. *Fuel*, 285(August 2020), 119110. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119110>

Siregar, A. A., Halimatussadiah, A., Moeis, F. R., Anky, W. A. K., & Nainggolan, D. (2024). The oil palm replanting imperative: Are smallholder farmers willing to participate? *Forest Policy and Economics*, 169(November), 103362. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103362>

Siregar, K., Tambunan, A. H., Sholihati, **Wirawan, S. S.**, & Araki, T. (2019). Comparison of energy production, net energy balance, net energy ratio, and renewable index for biodiesel production from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and jatropha (*Jatropha curcas* L.) based on life cycle assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 293(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/293/1/012025>

Siregar, K., Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., & **Wirawan S.S.** (2012). A Comparison of Life Cycle Inventory of Pre-harvest, Production of Crude Oil, and Biodiesel Production on *Jatropha curcas* and Palm Oil as A Feedstock for Biodiesel in Indonesia. *Proceeding of Ecobalance 2012, June*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3469.5848>

- Siregar, Kiman, Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., **Wirawan, S. S.**, & Araki, T. (2010). *Life Cycle GHG Emission and Energy Consumption for Production of Biodiesel Using Catalyst from Crude Palm Oil and Curde Jatropha Curcas Oil in Indonesia*.
- Siregar, Kiman, Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., **Wirawan, S. S.**, & Araki, T. (2013). Perbandingan Penilaian Siklus Hidup (Life Cycle Assessment) Produksi Biodiesel Secara Katalis Dari Crude Palm Oil Dan Crude Jatropha Curcas Oil. *Jurnal Telnologi Industri Pertanian*, 23(2), 129–141.
- Siregar, Kiman, Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., **Wirawan, S. S.**, & Araki, T. (2015). A Comparison of Life Cycle Assessment on Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) as Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia. *Energy Procedia*, 65, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.054>
- Siregar, Y. I. (2024). Pathways towards net-zero emissions in Indonesia's energy sector. *Energy*, 308(July), 133014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133014>
- Soerawidjaja, T. H., & Tahar, A. (2003). *Menggagas Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia” Prosiding Seminar Peluang Bisnis Industri Hilir Kelapa Sawit, Serpong*. 1–16.
- Solikhah, M. D., **Wirawan, S. S.**, Sugiarto, A. T., Wulandani, D., Nabetani, H., Hagiwara, S., Araki, T., & Purwanto, Y. A. (2024). Exploring the Potential of High-Fatty Acid Content Oils for Biodiesel Production: A Catalyst-Free Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1354(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1354/1/012005>
- Solikhah, Maharani Dewi, Nuramin, M., Rizal, S., & Wirawan, S. S. (2005). Biodiesel Pilot Plant Kapasitas 1,5 Ton/hari Sebuah Langkah Kecil Dalam Roadmap Biodiesel Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–16.

- Solikhah, Maharani Dewi, Wibowo, Y. G., Anwar, D., Andriani, A., Pamungkas, A., Pratiwi, F. T., **Wirawan, S. S.**, Jenie, S. N. A., Prasetya, H., & Petrus, H. T. B. M. (2025). A comprehensive review of potential utilization of novel flame-resistant hydrogel composites using alginate-cellulose-LDH Zn/Al-carbon nanotubes for water removal from biofuel. *Inorganic Chemistry Communications*, 180(P1), 114986. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114986>
- Suali, E., & Suali, L. (2023). Impact assessment of global biofuel regulations and policies on biodiversity. In *Environmental Sustainability of Biofuels*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91159-7.00012-6>
- Sugiyono, A. (2005). Biaya Eksternal dari Pembangkit Listrik Batubara. *Seminar Akademik Ilmu Ekonomi 2005, April*, 1–13. <https://agussugiyono.wordpress.com/2010/04/29/biaya-eksternal-dari-pembangkit-listrik-batubara/>
- Suhartini, S., Rohma, N. A., Mardawati, E., Kasbawati, Hidayat, N., & Melville, L. (2022). Biorefining of oil palm empty fruit bunches for bioethanol and xylitol production in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154(September 2021), 111817. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111817>
- Sumarno, T. B., Sihotang, P., & Prawiraatmadja, W. (2022). Exploring Indonesia's energy policy failures through the JUST framework. *Energy Policy*, 164(June 2021), 112914. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112914>
- Wimada, A. R., Nitamiwati, N. P. D., Pratiwi, F. T., Solikhah, M. D., Barus, B. R., Wijanarko, E. D., Anggarani, R., Asiyah, L., Widodo, S., Thahar, A., & **Wirawan, S. S.** (2024). SBR elastomer response to renewable diesel blends: An experimental investigation. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 34(4), 1–11. <https://doi.org/10.55713/JMMM.V34I4.2020>

- Wirawan ~~dkk~~, S. S.** penulis yang lain? (2008). Studi Penentuan Komposisi Optimum Campuran Bahan Bakar Biodiesel-Petrodiesel. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(2), 99–109. <https://doi.org/10.29122/jrl.v4i2.1858>
- Wirawan, S., Tambunan, A., Djamin, M., & Nabetani, H.** (2007). VALIDASI SPESIFIKASI CAMPURAN BODIESEL-SOLAR HASIL PENGUKURAN DENGAN METODA PERHITUNGAN SEDERHANA. In *Jurnal Keteknikan Pertanian* (Vol. 21, Issue 3, pp. 295–306). <https://www.neliti.com/id/publications/22016/validasi-spesifikasi-campuran-biodiesel-solar-hasil-pengukuran-dengan-metoda-per>
- Wirawan, Soni S.** (2011). Studi Efek Penggunaan Biodiesel Terhadap Emisi Pada Sektor Transportasi Di Jakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(2), 211–219. <https://doi.org/10.29122/jtl.v9i2.464>
- Wirawan, Soni S, Solikhah, M. D., Setiapraja, H., & Sugiyono, A.** (2024). Biodiesel implementation in Indonesia : Experiences and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189(PA), 113911. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113911>
- Wirawan, Soni S, Tambunan, A. H., Djamin, M., & Nabetani, H.** (2008). The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine. *Agricultural Engineering International, X*, 1–13. <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/.../1059>.
- Wirawan, Soni Solistia.** (2005a). Pengembangan Biodiesel Indonesia Dengan Teknologi Bangsa Sendiri: Kesempatan dan Tantangan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia Ke VII*. <https://doi.org/10.17528/cifor/006975>
- Wirawan, Soni Solistia.** (2005b). The Current Status and Future Development of Biodiesel in Indonesia Palm Oil today - Jatropha Oil tomorrow. *Proceeding World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition*.

- Wirawan, Soni Solistia.** (2007a). *Prosiding Konferensi Jarak Pagar : Menuju Bisnis Jarak Pagar yang Feasible*. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/40355>
- Wirawan, Soni Solistia.** (2005c). Biodiesel Plant Design : Perencanaan, Pemilihan Lokasi dan Hal-hal Penting Lainnya. *Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri*, 58, 1–6.
- Wirawan, Soni Solistia.** (2007b). ELECTRICITY GENERATION OPPORTUNITIES FROM PALM OIL MILLS IN INDONESIA. *The 4th Biomass-Asia Workshop*, 1–10.
- Wirawan, Soni Solistia.** (2003). Palm Biodiesel Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Diesel (Solar). *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 5. <https://doi.org/10.34128/jtai.v2i1.23>
- Wirawan, Soni Solistia.** (2009). Potential of *Jatropha curcas* L. *Proceedings of the Eria Workshop, October*, 169. <https://www.calameo.com/read/001422839d01aafd5e56c>
- Wirawan, Soni Solistia, & BRDST.** (2008). *Kata Kunci Judul Semua Bahan*. Penebar Swadaya.
- Wirawan, Soni Solistia, Setiaprja, H., Mokhtar, Sugiyono, A., Ibadurrohman, I. A., Dian Nitamiwati, N. P., & Solikhah, M. D.** (2025a). Assessing the readiness to implement bioethanol-blended fuel in Indonesia. *Biomass and Bioenergy*, 201(February), 108112. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108112>
- Wirawan, Soni Solistia, Setiaprja, H., Mokhtar, Sugiyono, A., Ibadurrohman, I. A., Dian Nitamiwati, N. P., & Solikhah, M. D.** (2025b). Assessing the readiness to implement bioethanol-blended fuel in Indonesia. *Biomass and Bioenergy*, 201(June), 108112. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108112>

- Wirawan, Soni Solistia, Solikhah, M. D., Widiyanti, P. T., Nitamiwati, N. P. D., Romelan, R., Heryana, Y., Nurhasanah, A., & Sugiyono, A. (2024a).** Unlocking Indonesia's sweet sorghum potential: A techno-economic analysis of small-scale integrated sorghum-based fuel grade bioethanol industry. *Bioresource Technology Reports*, 25(October 2023), 101706. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101706>
- Wirawan, Soni Solistia, Solikhah, M. D., Widiyanti, P. T., Nitamiwati, N. P. D., Romelan, R., Heryana, Y., Nurhasanah, A., & Sugiyono, A. (2024b).** Unlocking Indonesia's sweet sorghum potential: A techno-economic analysis of small-scale integrated sorghum-based fuel grade bioethanol industry. *Bioresource Technology Reports*, 25(November 2023), 101706. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101706>
- Wirawan, Soni Solistia, Sugiyono, A., Nitamiwati, N. P. D., Widiyanti, P. T., Romelan, R., Heryana, Y., Nurhasanah, A., & Solikhah, M. D. (2025).** Integrated supply chain optimization model for sorghum-based bioethanol industry on a small scale: Case study in East Java Province, Indonesia. *Bioresource Technology Reports*, 29(September 2024), 102051. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102051>
- Wirawan, Soni Solistia, & Tambunan, A. H. (2006).** *The Current Status and Prospects of Biodiesel Development in Indonesia : a review. April*, 1–15.
- Wirawan, Soni Solistia, Tambunan, A. H., & Djamin, M. (2012).** *The Effect of Biodiesel to Pollutant Emission and External Cost: Biodiesel Utilization in Transportation Sector: Case Study Jakarta*. LAP LAMBERT Academic Publishing. https://books.google.co.id/books/about/The_Effect_of_Biodiesel_to_Pollutant_Emi.html?id=PdxlwEACAAJ&redir_esc=y

- Wu, W. H., Foglia, T. A., Marmer, W. N., & Phillips, J. G. (1999). Optimizing production of ethyl esters of grease using 95% ethanol by response surface methodology. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(4), 517–521. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0034-2>
- Xin, Y., Sun, L., & Hansen, M. C. (2022). Oil palm reconciliation in Indonesia: Balancing rising demand and environmental conservation towards 2050. *Journal of Cleaner Production*, 380(P2), 135087. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135087>
- Yamazaki, R., Iwamoto, S., Nabetani, H., Osakada, K., Miyawaki, O., & Sagara, Y. (2007). Noncatalytic alcoholysis of oils for biodiesel fuel production by a semi-batch process. *Japan Journal of Food Engineering*, 8(1), 11–18.
- Zahan, K. A., & Kano, M. (2018). Biodiesel production from palm oil, its by-products, and mill effluent: A review. *Energies*, 11(8), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en11082132>
- Zhao, J., Elmore, A. J., Lee, J. S. H., Numata, I., Zhang, X., & Cochrane, M. A. (2023). Replanting and yield increase strategies for alleviating the potential decline in palm oil production in Indonesia. *Agricultural Systems*, 210(July), 103714. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103714>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku Internasional

1. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, Martin Djamin, “The Effect of Biodiesel to Pollutant Emission and External Cost”, LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN: 978-3-659-20923-9, Deutschland/ Germany, 2009.

Bagian Dari Buku Internasional

2. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, Hiroshi Nabetani, Tetsuya Araki, Yasuyuki Sagara, “Jatropha based Biodiesel: Chapter 7: Engineering Design of Biodiesel Plant”, PT Penerbit IPB Press, ISBN: 978-979-493-443-2, Bogor, November, 2012.
3. Anggota tim penulis buku “EAS-ERIA Biodiesel Fuel Trade Handbook:2010”, Published by Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA), ISBN 978-602-8660-19-8, 2008.

Bagian Dari Buku Nasional

4. Anggota Tim Penyusun Buku “Instruksi Kerja Teknis Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nabati dan Campurannya dengan Kandungan Maksimum 40% untuk Mesin Diesel pada Sektor Non Otomotif”, BBPMGB LEMIGAS, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024.
5. Ketua Tim Penyusun Buku “Pedoman Umum Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nabati dan Campurannya dengan Kandungan Maksimum 40% untuk Mesin Diesel”, Penerbit Direktorat Bioenergi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023.

6. Koordinator Editorial Board Penyusunan Buku “CAFE0 41 Engineering Conference Proceeding”, PII, Bali 21-23 November 2023.
7. Anggota tim pengarah dan penulis pada penyusunan buku “Inovasi Teknologi Melawan Covid-19: Bunga Rampai Kajiterap BPPT Membangun Inovasi Karya Anak Bangsa”, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), ISBN 978-6223-262-975-2, 2020.
8. Anggota tim pengarah pada penyusunan buku “Inovasi Tiada Henti”, diterbitkan oleh Forum Komunikasi Keluarga BPPT3S, ISBN 978-623-05-1327-5, 2022.
9. Narasumber pada penulisan buku “Biodiesel Jejak Panjang Sebuah Perjuangan” yang diterbitkan oleh Badan Litbang ESDM, ISBN: 978-623-96131-5-0, 2021.
10. Anggota tim pengarah pada penyusunan buku “**Gelombang Transformasi Teknologi Nasional**”, diterbitkan oleh BPPT, Dicetak oleh Percetakan PT Temprint, Jakarta, 2018.
11. Penanggung Jawab dalam penyusunan buku “Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi 2012”, dicetak oleh Penerbit BPPT, ISBN 978-979-3733-57-9, 2012.
12. Anggota Tim BRDST–BPPT dalam menulis buku, “Membangun Pabrik Biodiesel Skala Kecil” Penerbit Buku Penebar Swadaya, ISBN (13) 978-979-002-357-7, Jakarta, 2008.

Jurnal Internasional

13. Ade Pamungkas, Maharani Dewi Solikhah, Fatimah Tresna Pratiwi, Romelan Romelan, Siti Nurul Aisyiyah Jenie, **Soni Solistia Wirawan**, Himawan Tri Bayu Murti Petrus, Utilization of Geothermal Solid Waste to Improve the Properties of Acrylic Acid-Based Hydrogels: A Study on Swelling Behaviour and Kinetics, Polymer, JPOL 128802, 2025.

14. Maharani Dewi Solikhah, Yuda Gusti Wibowo, Dedy Anwar, Amelia Andriani, Ade Pamungkas, Fatimah Tresna Pratiwi, **Soni Solistia Wirawan**, Siti Nurul Aisyiyah Jenie, Hendra Prasetya, Himawan Tri Bayu Murti Petrus, A comprehensive review of potential utilization of novel flame-resistant hydrogel composites using alginate-cellulose-LDH Zn/Al-carbon nanotubes for water removal from biofuel, *Inorganic Chemistry Communications*, Volume 180, Part 1, October 2025, 114986.
15. **Soni Solistia Wirawan**, Hari Setiaprja, Mokhtar, Agus Sugiyono, Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Ni Putu Dian Nitamiwati, Marani Dewi Solikhah, *Assessing the readiness to implement bioethanol-blended fuel in Indonesia*, *Biomass and Bioenergy* 201 (2025) 108112.
16. **Soni Solistia Wirawan**, Agus Sugiyono, Ni Putu Dian Nitamiwati, Palupi Tri Widiyanti, Maharani Dewi Solikhah, *Integrated supply chain optimization model for sorghum-based bioethanol industry on a small scale: case study in east java province, Indonesia*, *Bioresource Technology Reports* 29 (2025) 102051.
17. **Soni Solistia Wirawan**, Maharani Dewi Solikhah, Palupi Tri Widiyanti, Ni Putu Dian Nitamiwati, Romelan Romelan, Yayan Heryana, Ana Nurhasanah, Agus Sugiyono, *Unlocking Indonesia's sweet sorghum potential: A techno-economic analysis of small-scale integrated sorghum-based fuel grade bioethanol industry*, *Bioresource Technology Reports* 25 (2024) 101706.
18. **Soni S. Wirawan**, Maharani D. Solikhah, Hari Setiaprja, Agus Sugiyono, *Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and future perspectives*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 189 (2024) 113911.

19. Andrias Rahman Wimada, Ni Putu Dian Nitamiwati, Fatimah Tresna Pratiwi, Maharani Dewi Solikhah, Bina Restituta Barus, Eki Dwi Wijarnako, Riesta Anggraini, Lies Asiyah, Setyo Widodo, Arfi Thahar, **Soni Solistia Wirawan**, SBR elastomer response to renewable diesel blends: An experimental investigation, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol. 34, no. 4, p. 2020, Desc. 2024.
20. Anisa Galuh Arisanti, Fatimah Tresna Pratiwi, Andrias Rahman Wimada, **Soni Solistia Wirawan**, Maharani Dewi Solikhah, Novel Findings on Elastomer Exposure Effects in Palm-Based Biodiesel Blends, *Transdisciplinary Research and Education Center for Green Technologies, Kyushu University*, Vol. 11, pages 2537-2544, 2024.
21. Yayan Heryana, Ade Pamungkas, Romelan, Maharani Dewi Solikhah, Matheofani, Bina Restituta Barus, Cahyo Setyo Wibowo, Faqih Supriyadi, Arfie Thahar, Edi Wibowo, **Soni Solistia Wirawan**, Evaluation of Corrosion Effects in Diesel-Biodiesel and Diesel-Biodiesel-HVO Blends on Metals for Fuel Storage Sustem, *Corrosion Science and Technology*, Vol. 23 Issue 5, Pages 352-364, 2024.
22. Pamungkas, A., Solikhah, M.D., Amri, K., Kismanto, A., and **Wirawan, S.S.**, Efficiency Amplified: Enhancing Energy Performance in Biodiesel Vacuum Thermal Water Removal System, *Thermal Science and Engineering Progress*, p. 102193, 2023.
23. Ade Pamungkas, Maharani Dewi Solikhah, Fatimah Tresna Pratiwi, Romelan, Matheofani, **Soni Solistia Wirawan**; Investigation of Biodiesel Stability Under Vacuum Heating Process, presented at International Conference on Biomass and Bioenergy 2022, 2022.
24. Ade Sana Ruhiyat, Hanafi Prida Putra, Hariana, Ika Monika, **Soni Solistia Wirawan**, Aminnudin, Combustion Characteristic of Low Rank Coal Blend with FEB and Plastic Waste, *Energy Proceeding*, Vol 26, ISSN 2004-2965, 2022.

25. Herbert Siahaan, Armansyah Halomoan Tambunan, Desrial, **Soni Solistia Wirawan**, Utilization of Gas Fuel as an Alternative Fuel in Internal Combustion Engine: A Review, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, Vol. 9 Issue 09, September-2020.
26. K Siregar, A H Tambunan, Sholihati, **S S Wirawan** and T Araki, Comparison, of energy production, net energy balance, net energy ratio, and renewable index for biodiesel production from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and jatropa (*Jatropha curcas* L.) based on life cycle assessment, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 293 (2019) 012025.
27. Kiman Siregar, Armansyah H. Tambunan, Abdul K Irwanto, **Soni S. Wirawan**, Tetsuya Araki, A Comparison of Life Cycle Assessment on oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) and Physic Nut (*Jatropa Curcas* Linn) as Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia, Jurnal Energy Procedia, Elsevier, halaman 170-179, 2015.
28. Lelly Nurul Komariah, Susila Arita, **Soni Solistia Wirawan**, Muhammad Yazid, Emission Factors of Biodesel Combustion in Industrial Boiler: A Comparison to Fossil Fuel, Journal of Renewable and Sustainable Energy, Jilid 5, 2013.
29. Lelly Nurul Komariah, Susila Arita, S. Novia, **Soni Solistia Wirawan**, Muhammad Yazid, Effect of Palm Biodiesel Blends on Fuel Consumption in Fire Tube Boiler, Applied Mechanics and Materials 391, 93-97, 2013.
30. 2012, K Siregar, AH Tambunan, AK Irwanto, **SS Wirawan**, TA Araki, Comparison of Life Cycle Inventory of Pre-Harvest, Production of Crude Oil, and Biodiesel Production on Jathropa Curcas and Palm Oil as a Feedstock for Biodiesel in Indonesia, Proceeding of Ecobalance 2012 Conference, Yokohama, Japan, 21–24, 2012.

31. **SS Wirawan**, AH Tambunan, M Djamin, H Nabetani, The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript EE 07 005. Vol. X. April. 2008.
32. **Soni Solistia Wirawan**, Electricity Generation Opportunities from Palm Oil Mills in Indonesia, Presented at The 4th Biomass-Asia Workshop, November 20–22, 2007, Kuala Lumpur, Malaysia.
33. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, The Current and Prospect of Biodiesel Development in Indonesia : a review, Presented on the Third Asia Biomass Workshop, Tsukuba, Japan, November 16, 2006.

Jurnal Nasional

34. Herbert Hasudungan Siahaan, Armansyah H Tambunan, **Soni Solistia Wirawan**; Rancang Bangun dan Pengujian Penghalang Heliks sebagai Pencampur Udara-Biogas pada Motor Otto, *Jurnal Keteknikan Pertanian*, , P-ISSN No. 2407-0475, E-ISSN No. 2338-8439, Vol. 8 No. 3, 2020.
35. K Siregar, AH Tambunan, AK Irwanto, **SS Wirawan**, Perbandingan Penilaian Siklus Hidup (Life Cycle Assessment) Produksi Biodiesel Secara Katalis dari Crude Palm Oil dan Crude Jatropha Curcas Oil, *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (2), 2013.
36. Martin Djamin, **Soni S. Wirawan**, Pengaruh Komposisi Biodiesel Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Jilid 11, halaman 381-387, 2010.
37. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, Martin Djamin, Hiroshi Nabetani, dan Arief Sabdo Yuwono, Studi Efek Penggunaan Biodiesel Terhadap Emisi Pada Sektor Transportasi di Jakarta, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, BPPT, Vol. 9 No. 2, ISSN 1441-318X, Jakarta, Mei 2008.

38. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, Martin Djamin, Hiroshi Nabetani, Studi Penentuan Komposisi Optimum Campuran Bahan Bakar Biodiesel-Petrodiesel, *Majalah Teknologi Lingkungan*, Volume 4 No. 2, 153–169. 2008.
39. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, Martin Djamin, Hiroshi Nabetani, Validasi Spesifikasi Campuran Biodiesel-Solar Hasil Pengukuran Dengan Metoda Perhitungan Sederhana, *Jurnal Keteknikan Pertanian*, IPB, Vol. 21 No. 23, ISSN 0216-3365, September 2007.
40. **Soni Solistia Wirawan**, Pengembangan Pabrik Biodiesel Dalam Rangka Kemandirian Suplai Energi Bersih, *Majalah Mineral & Energi : Biofuel sebagai Sumber Energi Terbarukan*, Vol. 4/No. 3, (2006), ISSN : 1693-4121, Litbang Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2006.
41. **Soni Solistia Wirawan**, Analisis Model untuk Evaluasi Keamanan Desain Sungkup Reaktor pada Pembangkit Tenaga Nuklir, *Publikasi Ilmiah Pengelolaan dan Pemanfaatan Energi Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan*, ISBN: 979-95999-1-1, Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT, Jakarta, 2000.
42. **Soni Solistia Wirawan**, Simulasi Numerik Karakteristik Perambatan Api Pada Pembakaran Di Ruangan Tertutup Dengan Model Reaksi Kimia Penuh, *Majalah Ilmiah Analisis Sistem*, ISSN : 0854-9117, Nomor 13, Tahun VI, Jakarta, 1999.

Prosiding Internasional

43. Soni Solistia Wirawan, Potential of *Jatropha Curcas* L, *Proceedings of the ERIA Workshop*, volume 28, Tsukuba, Japan 2009.
44. **Soni Solistia Wirawan**, Current Status of Biodiesel Production in Indonesia, *Proceeding Workshop on Renewable Energy Technology Applications To Support E3ⁱ Village (Energy, Economics and Environment)*, 22–24 July 2008, Jakarta, Indonesia, 2008.

45. **Soni Solistia Wirawan**, Future Biodiesel Research in Indonesia, Institute of Engineering and Technology System Design, BPPT, Jakarta, 2007.
46. **Soni Solistia Wirawan**, Current and Future Usage of Biofuels in Indonesia, Conference proceedings in Australia-Indonesia Joint Symposium in Science and Technology, page 13–14, 2006.
47. **Soni Solistia Wirawan**, Armansyah H. Tambunan, The Current Status and Prospects of Biodiesel Development in Indonesia: a Review, Proceeding The Third Biomass-Asia Workshop, (2006), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan, 2006.
48. **Soni Solistia Wirawan**, The Present Status of Biodiesel Development in Indonesia, Proceeding World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition, Jakarta, 2005.
49. **Soni Solistia Wirawan**, Manabu Hishida, Wataru Masuda, The Effect of Viscosity Coefficient Number to the Global Reaction Numerical Model for Flame Propagation in a Closed Chamber, Proceeding of the 8th Scientific Meeting (TI-VIII), ISSN 0918-7685, Indonesian Student Association in Japan, Osaka, Japan, 1999.
50. **Soni Solistia Wirawan**, Manabu Hishida, Wataru Masuda, Behavior of Flame Propagation in a Closed Chamber, Proceeding Symposium Tekno 98, ISSN 0853-7747, Indonesian Student Forum For Science and Technology in Japan, Nagaoka, 1998.

Prosiding Nasional

51. **Soni Solistia Wirawan**, Proses Produksi Biodiesel Dari Jarak Pagar, Prosiding Konferensi Nasional 2007 Jarak Pagar “Menuju Bisnis Jarak Pagar Yang Feasible”, IPB, 2007.
52. **Soni Solistia Wirawan**, Maharani Dewi Solikhah, Oni Fariza, Pengembangan Alat Pengolahan Hasil Jarak Pagar, Prosiding

Konferensi Nasional 2007 Jarak Pagar “Menuju Bisnis Jarak Pagar Yang Feasible”, IPB, 2007.

53. **Soni Solistia Wirawan**, Efek Penggunaan Biodiesel Kualitas Standar (SNI) Pada Kendaraan Komersial, Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri, Volume 1 : Bidang Teknologi Energi, (2005), ISSN : 1411-9927, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, 2005.
54. **Soni Solistia Wirawan**, Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Efisiensi Pembakaran dan Kondisi Mesin, Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri, Volume 1 : Bidang Teknologi Energi, (2005), ISSN : 1411-9927, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, 2005.
55. **Soni Solistia Wirawan**, Biodiesel Plant Design : Perencanaan, Pemilihan Lokasi dan Hal-hal Penting Lainnya, Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri, Volume 1 : Bidang Teknologi Energi, (2005), ISSN : 1411-9927, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, 2005.
56. **Soni Solistia Wirawan**, Biodiesel Bagi DKI Jakarta, Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel/Solar Yang Ramah Lingkungan, Himpunan Karangan Ilmiah Bidang Perkotaan dan Lingkungan : Pengendalian Pencemaran Udara, Volume 2., (2005), ISSN 0854-9206, Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta, 2005.
57. **Soni Solistia Wirawan**, Pengembangan Biodiesel Indonesia Dengan Teknologi Bangsa Sendiri: Kesempatan dan Tantangan, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia ke VII., (2005), Peningkatan Daya Saing Nasional Melalui Pemanfaatan Sumber Daya Alam untuk Pengembangan Produk dan Energi Alternatif, ISSN 1410-9891, Teknik Gas & Petro Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 2005.

58. **Soni Solistia Wirawan**, Biodiesel Pilot Plant Kapasitas 1,5 Ton/hari Sebuah Langkah Kecil Dalam Roadmap Biodiesel Indonesia, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2005, ISSN : 1411-4216, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
59. **Soni Solistia Wirawan**, Palm Biodiesel Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Diesel (Solar), Proceeding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia ke V, Inovasi Produk dan Proses Kimia, ISSN 1410-9891, Teknik Gas & Petro Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 2003.
60. **Soni Solistia Wirawan**, Aspek-Aspek Keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, Prosiding Hasil-hasil Lokakarya Energi, Pertamina–Komite Nasional Indonesia–World Energy Council (KNI–WEC), Jakarta, 1994.
61. **Soni Solistia Wirawan**, Analisis Keandalan Sistem Akumulator Untuk PLTN Jenis PWR Dua Loop di Jepang, Prosiding Seminar Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, ISSN : 0854-2910, PPTA–BATAN, Serpong, 1993.
62. Adiarso, **Soni Solistia Wirawan**, Pemodelan Reformer Kukus-Hidrokarbon Dengan Sistem Pembakaran Dari Atas, Fuel Combustion Training Seminar, UPT-LSDE, PUSPIPTEK, Serpong, 1989.

Kekayaan Intelektual

Paten Nasional

- Paten Terdaftar
63. Komposisi Hidrogel Berbasis Asam Akrilat Dengan Penambahan Silika Dari Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Serta Metode Pembuatannya, Nomor Pengajuan HKI 2025-1741738951-ooju.

64. Mesin Panen Sorgum, No. Pengajuan HKI 2024-1728629090-csgm.
65. Alat Pembuat Bio-pelet Sorgum, No. Pengajuan HKI 2024-1728457617-v5rn.
66. Formulasi Dan Proses Pembuatan Biopelet Sorgum, No. Pengajuan HKI 2024-1725351773-jzfs.
67. Sistem Produksi Biodiesel Dengan Teknologi Reaktor Multitube Tanpa Katalis, No. Pengajuan HKI 2024-1722749791-aosx.
68. Alat Dewatering Untuk Bahan Bakar Minyak, Bahan Bakar Nabati, Dan Campurannya Dengan Teknologi Adsorpsi, No. Pengajuan HKI 2023-1686295837-t4pr.
69. Reaktor Pirolisis Berpengaduk Untuk Mengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair, No. Pengajuan HKI 2023-1683613942-teqq.
70. Alat Pengolah Sampah Organik Tipe Drum Berlubang Perforasi, No. Pengajuan HKI 2022-1669817922-5vle.
71. Pembuatan Biodiesel dari Distilat Asam Lemak Kelapa (CFAD) dengan Proses Esterifikasi dan Trans- Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam dan Basa, Granted No. ID P 0023106, 2008.
72. Pembuatan Biodiesel dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit (PFAD) dengan Proses Metanolisis Menggunakan Katalis Asam dan Basa, Grandted No. ID P 0022318, 2006.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama : Dr. Ir. Soni Solistia Wirawan, M.Eng.
Tempat/Tgl. Lahir : Bandung/10 Oktober, 1961
Anak ke : 4 dari 4 bersaudara
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Nama Ayah Kandung : S. Anjar Sumyana
Nama Ibu Kandung : Koes Anjar Sumyana
Nama Istri : Dra. Ika Sandra
Jumlah Anak : 4 (Empat)
Nama Anak : Nike Nadia S.H., M.H.
Noval Hudiya S.Kom.
Dafa Fadiya S.Si., M.Si.
Daniya Fathiya S.P.
Nama Unit : Pusat Riset Teknologi Bahan Bakar
Nama Organisasi : Organisasi Riset Energi dan Manufaktur
Nama Instansi : Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi : Pemanfaatan *Biofuel* dalam Mendukung Transisi Energi Berkelanjutan di Indonesia: Kasus Biodiesel
Ilmu : Bahan Bakar dan Konversi Energi
Bidang : Energi Baru Terbarukan
Kepakaran : Teknologi *Biofuel*
No. SK Pangkat Terakhir: Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 61/K Tahun 2017 tanggal 4 Desember 2017
No. SK Perekayasa
Ahli Utama : Keppres Nomor 43/M Tahun 2020 tanggal 22 Mei 2020.Keppres No 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022

Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6504557892>

Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.com/citations?user=UPArZEcAAAAJ&hl=id&oi=ao>

B. PENDIDIKAN FORMAL

No	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	Taruna Bakti	Bandung	1973
2	SMP	SMPN XIII	Bandung	1976
3	SMA	SMAN III	Bandung	1980
4	S-1	UNIBRAW	Malang	1986
5	S-2	Nagaoka University of Technology	Nagaoka, Jepang	1998
6	S-3	IPB	Bogor	2009

C. PENDIDIKAN NON FORMAL

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat	Tahun
1	Fatigue of Welded Structures Course	LUK-BPPT, Puspiptek, Serpong, Indonesia	1988
2	Fuel Combustion Technology Course	ITB, Bandung Indonesia	1988- 1989
3	Nuclear Technology Course	JAERI, Tokaimura, Japan	1989- 1990
4	On the job training on PWR Nuclear Power Plant Design Aspects	MHI Ltd., Tokyo, Kobe, Takasago, Japan	1990- 1992

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat	Tahun
5	Plant Design System /PDS training	Intergraph, San Fransisco, CA, USA	1994
6	AP600 Nuclear Power Plant (NPP) Design Participation	Bechtel, San Fransisco, CA, USA	1993-1994
7	AP600 Nuclear Power Plant (NPP) Design Participation	WEC, Monroeville, PA, USA	1994-1995
8	<i>“Training Balance of Plant”</i> PLTU	PLN, Jatim, Indonesia	1996
9	FEED LNG Tangguh Design Participation	Bechtel, Houston, USA	2001
10	Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat II (Diklatpim Tk II) Angkatan XXII	LAN, Jakarta, Indonesia	2008
11	Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat I (Diklatpim Tk I) Angkatan XXVII	LAN, Jakarta, Indonesia	2013
12	Pelatihan Sertifikasi Asesor Kompetensi	LPTUI, Bogor, Indonesia	2021
13	Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia	UMI, Makassar, Indonesia	2022

D. JABATAN STRUKTURAL

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Ka. Subbag. Tata Usaha Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi (BRDST) - BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)	2001–2002
2	Kepala BRDST - BPPT	BPPT	2002–2010
3	Kepala Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) - BPPT	BPPT	2010–2014
4	Sekretaris Utama	BPPT	2014–2018
5	Deputi Ka. BPPT Bidang Teknologi Agroindustri dan Bioteknologi	BPPT	2018–2021

E. JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Asisten Peneliti Madya (III/b)	01 Mei 1993
2	Ajun Peneliti Muda (III/b)	01 Agustus 1996
3	Ajun Peneliti Madya (III/c)	01 Juni 2000
4	Peneliti Madya (IV/a)	01 Juli 2007
5	Perekayasa Madya (IV/b)	01 Mei 2009
6	Perekayasa Ahli Utama (IV/e)	01 September 2021

F. PENUGASAN KHUSUS NASIONAL/ INTERNASIONAL

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Anggota Tim Aplikasi Rekayasa Forensik Untuk Perbaikan Gedung Pasca Kebakaran di Kodya Tangerang	Menristek/Ka BPPT	1998
2	Anggota Gugus Tugas Landmark Energi	Deputi Kepala BPPT Bidang TIEML	2004
3	Ketua Panitia Acara Launching Uji Coba Biodiesel B10 Pada Kendaraan Bus BPPT	Sekretaris Utama BPPT	2004
4	Anggota Tim Pendamping Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Untuk Energi	Dirjen Listrik Dan Pemanfaatan Energi, DESDM	2005
5	Anggota Tim Teknis Kegiatan Forum Komunikasi Industri CPO dan Turunannya	Dirjen Industri Agro dan Kimia, Deperin	2005
6	Anggota Tim Koordinasi Gugus Tugas White Paper Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Bidang Prioritas Pembangunan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi 2005-2025.	Menristek	2005-2006
7	Anggota Tim Koordinasi Pengembangan Pilot Project Desa Mandiri Energi (DME)	Menteri Dalam Negeri	2010

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
8	Ketua Task Force Riset dan Inovasi Teknologi untuk penanganan Covid-19 (TFRIC-19)	Ka BPPT	2020-2021

G. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
1	Seminar Sehari Pemakaian Biodiesel Sebagai Salah Satu Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan	Pembicara	BPLHD Pemda DKI Jakarta	Jakarta, 2004
2	Meeting on New Energy Mission	Narasumber	Japan – Indonesian Science and Technology Forum (JIF)	Tokyo, Japan, 2004
3	Seminar Gelar Teknologi Agroindustri	Pembicara	PT Rajawali Nusantara Industri	Jakarta, 2005
4	Pembicara di “Seminar on Development in Biofuel Production and Biomass Technology”	Pembicara	IPB – University of Tokyo	IPB, Bogor, 2005

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
5	Semiloka Nasional Konvensi Nasional Insinyur Mesin 2005	Pembicara	Badan Kejuruan Mesin – Persatuan Insinyur Indonesia BKM - PII	Jakarta, 2005
6	Lomba Rancang Bangun Pabrik Tingkat Nasional 2005	Narasumber dan Juri	ITB	ITB, Bandung, 2005
7	World Renewable Energy Regional Congress & Exhibition 2005 for Asia Africa	Pembicara	METI	Jakarta, 2005
8	Seminar Peran Bioteknologi dalam Pengembangan Energi	Pembicara	FMIPA Universitas Lampung (UNILA)	UNILA, Lampung, 2005
9	seminar Biodiesel Bahan Bakar Alternatif Untuk Mesin Diesel	Pembicara	Jurusan Teknik Mesin UGM UGM, Yogyakarta	UGM, Yogyakarta, 2005
10	Workshop Pemanfaatan Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel	Pembicara	DJLPE - DESDM	Jakarta, 2005
11	Workshop LP3E Kadin Indonesia	Pembicara	LP3E Kadin Indonesia	Jakarta, 2005

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
12	Pertemuan Dua Bulanan Ke – 3 LP3E Kadin Indonesia	Pembicara	LP3E Kadin Indonesia	Jakarta, 2005
13	Fokus Grup Diskusi “Prospektif Sumberdaya Lokal Bioenergi”	Pembicara	Ristek	Jakarta, 2005
14	Seminar Nasional Perhimpunan Agronomi Indonesia Universitas Brawijaya	Pembicara	Fakultas Pertanian Brawijaya, Malang	Malang, 2005
15	Semiloka Nasional Pengembangan Energi Alternatif Berbasis Masyarakat	Pembicara	Pusat Peran Serta Masyarakat	Jakarta, 2005
16	Focus Group Discussion Kajian Hasil-Hasil Riset Biodiesel di Indonesia	Pembicara	BPPT, Ristek	Jakarta, 2005

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
17	Expert Group Meeting on Industrial Biotechnology and Biomass Utilisation – Prospects and Challenges for Developing World Vienna	Narasumber	UNIDO	Vienna, Austria, 2005
18	Seminar Teknologi Untuk Negeri 2005	Pembicara	BPPT	BPPT, 2005
19	Project Review and Planning Meeting	Narasumber	Westinghouse Electric Corporation, USA	Monroeville, PA, USA, 2006
20	International Workshop on Strategy on Development of Biodiesel Industry in Indonesia	Pembicara	BPPT, Energea Austria	Jakarta, 2006
21	Kunjungan Kerja Komisi VII DPR RI ke Pabrik Biodiesel di Riau	Presenter	Balitbang Pemda Provinsi Riau	Pekanbaru, Riau, 2006
22	Workshop Biofuel	Pembicara	Komunitas Migas Indonesia	Jakarta, 2006

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
23	Seminar Nasional Biodiesel Sebagai Alternatif Energi Masa Depan Chemistry Explore 2006	Pembicara	Keluarga Mahasiswa Kimia Universitas Gadjah Mada	UGM, Yogyakarta, 2006
24	Sosialisasi BIOSOLAR	Pembicara	Direktorat Pemasaran dan Niaga PERTAMINA	Jakarta, 2006
25	Sosialisasi BIOSOLAR	Pembicara	Direktorat Pemasaran dan Niaga PERTAMINA	Surabaya, 2006
26	Workshop Bahan Bakar Nabati	Pembicara	Bank Indonesia	Jakarta, 2006
27	The Third Biomass- Asia Workshop	Pembicara	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	Tsukuba, Japan, 2006
28	International Biofuel Seminar	Narasumber	Timnas BBN	Berlin, Germany, 2006
29	Asian Science and Technology International Seminar	Pembicara	BPPT and Japan Science and Technology Agency (JST)	Jakarta, 2007

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
30	Planning Workshop on Strategies and Options for Integrating Biofuels and Rural Renewable Energy for Poverty Reduction	Narasumber	FAO	Bangkok, Thailand, 2007
31	The Fourth Biomass – Asia Workshop	Pembicara	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	Kualalumpur, Malaysia, 2007
32	Visiting Research Scientist to Biomass Technology Research Center (BTRC)”	Narasumber	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	Tsukuba, Japan, 2008
33	The 5 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Jakarta, 2008
34	The 6 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Kinabalu, Malaysia, 2009

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
35	The 7 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Tsukuba, Japan, 2009
36	The 8 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Tsukuba, Japan, 2009
37	Joint Task 40/ ERIA Workshop	Pembicara	IEA Bioenergy, NFV and ERIA	Tsukuba, Japan, 2009
38	The 9 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Hanoi, Vietnam, 2010
39	Conference of Asia Biomass Energy Promotion Activity in 2009	Pembicara	New Energy Foundation (NEF)	Tokyo, Japan, 2010
40	The 10 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Jakarta, 2010

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
41	13th EAS Energy Cooperation Task Force Meeting	Pembicara	ERIA, METI (Jepang), DESDM	Denpasar, 2010
42	Seminar Teknik Kimia Tjipto Utomo 2010	Pembicara	Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri – ITENAS, Bandung	Bandung, 2010
43	Bedah Buku Produk HKI BPPT (Topik: Biodiesel)	Pembicara	Pusat Data, Informasi dan Standarisasi - BPPT	BPPT, Jakarta, 2010
44	The 11 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Jakarta, 2010
45	The 12 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Singapore, 2011
46	Indobioenergy 2011, Seminar Revitalisasi Program Bioenergi Nasional	Ketua pelaksana merangkap moderator	EBTKE-ESDM, IKABI, APROBI	Balai Kartini, Jakarta, 2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
47	The 13 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Bangkok, Thailand, 2011
48	Pertemuan Pembahasan Kebijakan Teknis dan Lingkungan Bioenergi	Pembicara	Direktorat Jenderal Energi baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE – ESDM)	Cikarang, 2011
49	Seminar Nasional Almamater Sakti 2011, Peran Mahasiswa dalam Memanfaatkan Bioenergi sebagai Alternatif Energi Terbarukan	Pembicara	Departemen Kajian Startegi dan Kaderisasi, BEM – FMIPA, IPB	IPB, Bogor, 2011
50	Technical Session of “International Conference and Exhibition on Renewable Energy and Energy Efficiency	Moderator	World Renewable Energy Congress – Indonesia	Bali, 2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
51	FGD Bioenergi sebagai solusi alternative menurunkan subsidi BBM: perspektif teknolog dan ekonom	Pembicara	IKABI	Jakarta 2012
52	Konferensi Internasional INACHEM	Pembicara	BKKPII	Jakarta, 2012
53	Indonesia EBTKE CONEX, Renewable Energy and Energy Conservation Conference & Exhibition 2012	Moderator	EBTKE – ESDM dan METI	Jakarta, 2012
54	Seminar Nasional Sains dan Teknologi Dalam Penanganan Energi ke VIII	Pembicara	Hima Mesin, UNJANI - Cimahi	UNJANI, Cimahi, 2012
55	The 9 th Asia Biomass Asia Workshop. Title of presentation “Application and Industrialization of Research Outcome	Narasumber	NEF, AIST and JST	Tokyo, Japan, 2012

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
56	seminar “Waste to Revenue: Energizing Indonesia’s Palm Oil Industry Understanding the technology and the related revenue-generating opportunities”	Moderator	GIZ, Germany	Jakarta, 2012
57	The 16 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	New Delhi, 2013
58	Seminar “Energy Saving & Technology for Sustainable Energy Generation for Indonesia”	Narasumber	PT. Tridinamika Test and Measurement, IKAL - BPPT	Jakarta, 2013
59	The 17 th Meeting of Working Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	Narasumber	ERIA, AIST	Luangprabang, Lao PDR, 2013
60	South East Asia Auto Summit 2013	Keynote speaker	Lnoppen	Jakarta, 2013

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
61	EEP Indonesia – Central Kalimantan Renewable Energy Seminar”	Pembicara	EEP (Energy and Environment Partnership) Indonesia, Ministry for Foreign Affairs of Finland, EBTKE - ESDM	Palangkaraya, Kalteng, 2013
62	Prosesi Pengambilan Sumpah Insinyur dan Wisuda Profesi Insinyur Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Industri Universitas Muslim Indonesia	Pembicara kunci	UMI, Makassar	Makassar, 2022
63	Business Meeting & Expotition Dalam Rangka Pembukaan Kantor Badan Pengembangan dan Hilirisasi	Pembicara	KADIN DIY, PII DIY dan UGM, Yogyakarta	UGM, Yogyakarta, 2023

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota,Negara)	Tahun
64	RAPIMNAS PII dan Conference of ASEAN Federation of Engineering Organization (CAFEO-41)	Ketua Panitia acara Engineering Conference	Denpasar, Bali	2023
65	Sosialisasi Buku Pedoman Umum Penanganan dan Penyimpanan BBN dan Campurannya dengan Kandungan Maksimum 40% untuk Mesin Diesel	Moderator/ Pembicara	Dit Bioenergi- Ditjen EBTKE, LEMIGAS, Indonesia	2023
66	Sosialisasi Instruksi Kerja Teknis Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nabati dan Campurannya dengan Kandungan Maksimum 40% untuk Mesin Diesel pada Sektor Non Otomotif.	Moderator/ Pembicara	Dit Bioenergi- Ditjen EBTKE, LEMIGAS, P3TEK, Indonesia	2024

H. KETERLIBATAN DALAM PENGELOLAAN JURNAL ILMIAH

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	-	-	-	-

I. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a. Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	1 buah
2.	Buku Nasional	-
3.	Bagian dari Buku Internasional	2 buah
4.	Bagian dari Buku Nasional	9 buah
5.	Jurnal Internasional	21 buah
6.	Jurnal Nasional	9 buah
7.	Prosiding Internasional	8 buah
8.	Prosiding Nasional	12 buah
9.	Paten Internasional	
	Terdaftar	-
	Tersertifikasi	-
10.	Paten Nasional	
	Terdaftar	10 buah
	Tersertifikasi	-
11.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
12.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
13.	Hak Cipta	-
14.	Desain Industri	-
15.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-
16.	Transaksi Lisensi	-

b. Kualifikasi Penulis

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	16
2	Bersama Penulis Lainnya	46
	Total	62

c. Kualifikasi Bahasa

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Inggris	32
2	Bahasa Indonesia	30
3	Bahasa Lainnya	-
	Total	62

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	
	Terdaftar	-
	Tersertifikasi	-
2.	Paten Nasional	
	Terdaftar	10 buah
	Tersertifikasi	-
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
5.	Hak Cipta	-
6.	Desain Industri	-
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-

3. Kerjasama bersama Mitra

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	-

J. PEMBINAAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti atau Perekayasa

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1.	-	-	-	-

Mahasiswa

No.	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran	Tahun
1	Novizar Nazir	IPB	Penguji luar komisi dalam ujian akhir program Doktor	2010
2	Ditdit Nugeraha Utama	IPB	Penguji luar komisi dalam ujian akhir program Doktor	2012
3	Lelly Nurul Komariah	UNSRI	Membimbing mahasiswa S3	2013
4	Kiman Siregar	IPB	Membimbing mahasiswa S3	2013
5	Rosmeika	IPB	Penguji luar komisi dalam ujian akhir program Doktor	2014
6	Inge Scorpi Tulliza	IPB	Penguji luar ujian tertutup dan sidang promosi terbuka program Doktor	2019
7	Herbert Hasudungan Siahaan	IPB	Membimbing S3	2020

No.	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran	Tahun
8	Maharani Dewi Solikhah	Institut Pertanian Bogor (IPB)	Membimbing mahasiswa S3	2023
9	Furqon	IPB	Anggota Komisi Promosi pada sidang promosi terbuka program Doktor	2024
10	Ade Pamungkas	Universitas Gadjah Mada	Membimbing mahasiswa S2	2024
11	Khairil Amri	Universitas Indonesia	Membimbing mahasiswa S3	2025
12	Rizky Adi Prasetyo	IPB	Penguji luar ujian skripsi S1	2025

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI)	2003– sekarang
2	Anggota	Forum Biodiesel Indonesia (FBI)	2003–2010
3	Anggota	Anggota Tim Gugus Tugas Energi, Kementerian Negara Riset dan Teknologi	2005–2010
4	Anggota	Pokja Bahan Bakar Nabati BUMN	2006
5	Anggota	Masyarakat Kelapa Sawit Indonesia (MAKSI)	2006– sekarang
6	Anggota	Tim Nasional Bahan Bakar Nabati	2006–2008

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
7	Anggota	Tim Program Aksi Bahan Bakar Alternatif, Menko Ekuin	2006–2010
8	Anggota	Tim Rusnas Energi di bawah koordinasi KNRT, bekerjasama dengan UNSRI	2007–2009
9	Anggota	Tim Program Aksi Bahan Bakar Alternatif, Deperindag	2007–2010
10	Member of	Working ERIA Group for Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia	2008–2010
11	Anggota	Tim Program BBN, Depdagri	2008–2010
12	Anggota	Tim Nasional Monitoring Program Desa Mandiri Energi, Menko Ekuin	2008–2010
13	Sekretaris umum	Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI)	2010–sekarang
14	Anggota	Technical Committee EEP (Energy and Environment Partnership) Indonesia (Project financed by ministry of Finland bekerjasama dengan Ditjen. EBTKE - ESDM)	2011
15	Anggota	Ikatan Auditor Teknologi Indonesia	2012
16	Ketua	Task Force Riset dan Inovasi Teknologi COVID-19 (TFRIC-19)	2020–2021
17	Anggota	Pusat Kajian Teknologi dan Inovasi (CTIS)	2023–sekarang
18	Ketua	Bidang EBT & Transisi Energi , Persatuan Insinyur Indonesia (PII)	2023–sekarang
19	Anggota	Persatuan Periset Indonesia	2025–sekarang

L. TANDA PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Piagam Satyalancana Karya Satya 10 Tahun Nomor : 043/TK/TAHUN/2002	Presiden RI	10 Agt. 2002
2	Pegawai peduli HAKI: berkaitan dengan aplikasi paten di bawah nomor pendaftaran P-00200400622 berjudul "Pembuatan Biodiesel Dari CFAD (Coconut Fatty Acid Distillate) Dengan Proses Methanolisis Menggunakan Katalis Asam dan Basa.	BPPT	29 Nov. 2005
3	Pegawai peduli HAKI: berkaitan dengan aplikasi paten di bawah nomor pendaftaran P-00200400620 berjudul "Pembuatan Biodiesel Dari PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Dengan Proses Methanolisis Menggunakan Katalis Asam dan Basa.	BPPT	29 Nov. 2005
4	Penghargaan Satyalancana Pembangunan Nomor:063/TK/Tahun 2006: Atas kontribusinya dalam pengembangan biodiesel yang bermanfaat untuk masyarakat luas.	Presiden RI	10 Agt. 2006

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
5	Piagam Satyalancana Karya Satya 20 Tahun Nomor : 032/TK/ TAHUN/2009	Presiden RI	24 Juli 2009
6	Piagam Penghargaan Nomor: 36/TP-PIM-I/LAN/ XI/2011 sebagai partisipasi terbaik II dari 28 orang peserta dalam mengikuti Diklatpim Tingkat I Angkatan XXVII Tahun 2013.	Kepala LAN	27 Nov. 2013
7	Piagam Satyalancana Karya Satya 30 Tahun Nomor : 092/TK/ TAHUN/2018	Presiden RI	7 Agt. 2018
8	Certificate of Honorary Membership as Honorary Fellow.	ASEAN Federation of Engineering Organisations (AFEO)	7 Des. 2022
9	Penghargaan Sebagai ASEAN Engineer	ASEAN Federation of Engineering Organisations (AFEO)	24 Juli 2024

Biodiesel adalah bahan bakar nabati yang terbuat dari minyak tumbuhan seperti minyak sawit, kedelai, atau jarak pagar, yang dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar fosil ramah lingkungan dan terbarukan. Saat ini minyak sawit menjadi bahan baku utama untuk produksi biodiesel di Indonesia. Untuk mendapatkan harga produk biodiesel yang lebih ekonomis, telah dilakukan riset produksi biodiesel dari berbagai bahan baku selain minyak sawit seperti diantaranya dari limbah pabrik kelapa sawit (minyak parit), Coconut Fatty Acid Distillate (CFAD) dan Palm Fatty Acid Distillate (PFAD). Demikian juga riset terkait dengan teknologi proses produksi yang lebih efisien dan ekonomis seperti teknologi proses produksi biodiesel tanpa katalis dan lainnya telah dilakukan.

Berbagai riset untuk menjaga agar kualitas biodiesel tetap aman digunakan seperti riset untuk menghilangkan/ menurunkan kadar air (water removal) dan riset kompatibilitas bahan bakar biodiesel terhadap material komponen mesin juga telah dilakukan. Selain riset teknis terkait proses produksi dan kompatibilitas material, riset yang meneliti efek dari penggunaan biodiesel terhadap kinerja mesin dan emisi juga telah dilakukan.

Lewat sinergi dengan berbagai lembaga terkait, riset ini turut berkontribusi dalam penyusunan berbagai kebijakan yang mendukung jalannya implementasi pemanfaatan biodiesel nasional termasuk dalam penyusunan buku Pedoman Umum Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nabati dan Campurannya dengan Kandungan Maksimum 40% untuk Mesin Diesel. Hasil riset yang telah dicapai, mendukung program transisi energi berkelanjutan di Indonesia.

