

## Produksi biodiesel berkualitas tinggi dari minyak jelantah di Indonesia

**Penulis:** Tenny Kristiana, Adrian O’Connell, dan Chelsea Baldino

**Kata kunci:** minyak jelantah, pengolahan awal, transesterifikasi, pengolahan akhir, UCOME

### Pendahuluan

Pada tahun 2008, Indonesia memulai program biodiesel dengan tingkat pencampuran 2,5%. Angka tersebut secara bertahap meningkat menjadi 20% pada tahun 2016 dan 35% pada tahun 2023 (Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi [EBTKE], 2019; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral [ESDM], 2023). Sejak tahun 2008–2016, program untuk sektor transportasi hanya berlaku pada kendaraan untuk layanan publik (*public service obligation*, PSO). Melalui program tersebut, pemerintah Indonesia mengeksplorasi beberapa jenis bahan baku biodiesel, termasuk jarak pagar (*jatropha*), minyak sawit mentah (CPO), dan minyak jelantah (UCO) (EBTKE, 2019). Pada tahun 2015, pemerintah membentuk Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS), yang juga dikenal dengan sebutan *Palm Oil Estate Fund* (POEF) untuk mengelola *CPO Supporting Fund* (CSF). BPDPKS membantu negara mengimplementasikan program biodiesel secara lebih efektif dengan memberikan insentif pada biodiesel berbasis CPO (BPDPKS, 2018).

Sejak saat itu, Indonesia lebih fokus pada pengembangan program biodiesalnya dengan bahan baku tunggal, yaitu CPO. Selain untuk biodiesel, CPO juga digunakan dalam berbagai produk pangan di Indonesia, termasuk minyak goreng. Krisis minyak goreng dalam negeri baru-baru ini yang menyebabkan kenaikan harga yang drastis dan kekurangan pasokan telah menimbulkan tekanan yang kuat terhadap program biodiesel. Beberapa pemangku kepentingan, termasuk anggota komunitas usaha, berpendapat bahwa besarnya volume CPO yang digunakan dalam program biodiesel berkontribusi pada masalah distribusi yang mendukung faktor lain penyebab krisis minyak goreng (CNBC Indonesia, 2022). Dengan alasan inilah, para pembuat kebijakan mempertimbangkan bahan baku lain untuk memproduksi biodiesel.

Biodiesel yang terdiri atas asam lemak metil ester (*fatty acid methyl esters*, FAME), dapat diproduksi dari beberapa bahan baku berminyak selain CPO, termasuk diantaranya minyak jelantah (Kristiana & Baldino, 2021). Namun demikian, minyak jelantah kurang dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel di Indonesia. Studi ICCT terbaru menunjukkan Indonesia berpotensi mengumpulkan minyak jelantah hingga 715 kiloton setiap tahunnya (Kristiana dkk., 2022). Walaupun Indonesia berpotensi memproduksi 651 kiloton biodiesel minyak jelantah dari total volume tersebut, saat ini hanya sekitar 0,7 kiloton yang diproduksi Indonesia setiap tahun (Kristiana dkk., 2022). Saat ini, minyak jelantah tidak termasuk dalam program biodiesel Indonesia, sehingga

[www.theicct.org](http://www.theicct.org)

[communications@theicct.org](mailto:communications@theicct.org)

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

sebagian besar minyak jelantah yang dikumpulkan di dalam negeri diekspor ke Eropa atau negara-negara Asia lainnya (Kristiana dkk., 2022).

B100 adalah biodiesel murni yang terdiri atas 100% FAME. Standar Nasional Indonesia untuk B100 diatur dalam SNI 7182:2015 (Badan Standardisasi Nasional, 2015). Selain itu, peraturan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), yang meliputi standar pencampuran biodiesel, mengatur program biodiesel Indonesia saat ini. Dalam program B30, misalnya, Keputusan Direktorat Jenderal EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019 mengatur persyaratan tentang FAME yang dapat dicampurkan ke dalam solar. Para produsen yang berpartisipasi dalam program biodiesel berhak untuk mendapatkan insentif dari pemerintah. Setiap tahun, Kementerian ESDM mengeluarkan kuota untuk pencampuran biodiesel dan estimasi total insentif yang diperlukan. Besaran insentif tidak pasti karena didasarkan pada harga pasar minyak sawit dan solar. Terkadang, diperlukan insentif per liter yang tinggi sementara pada kesempatan lain, tidak diperlukan insentif (Waseso, 2022).

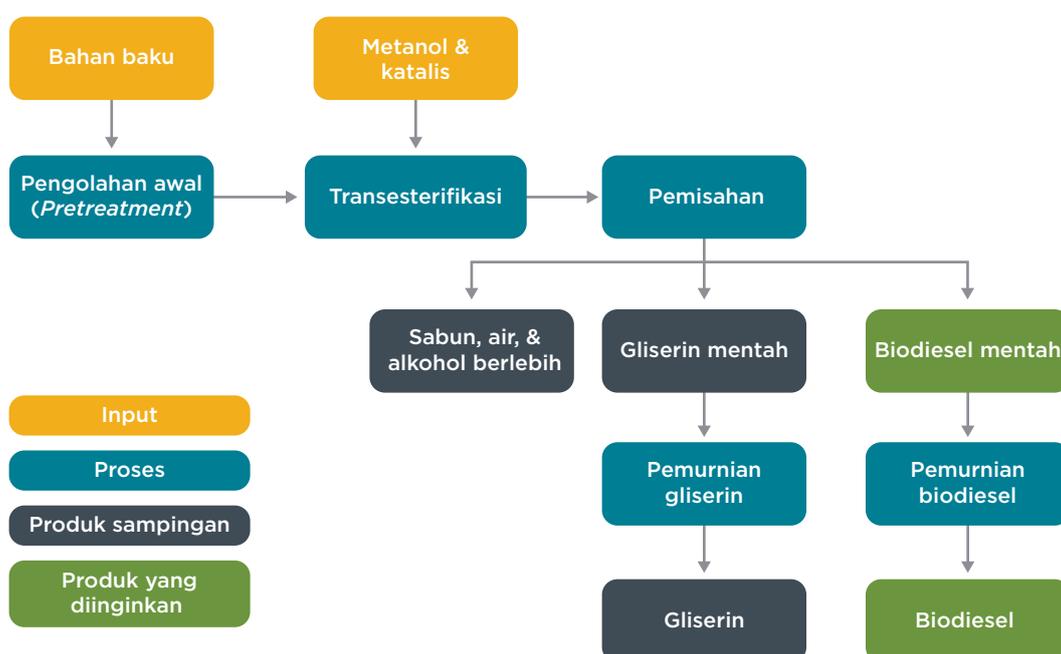
Saat ini, produsen biodiesel minyak jelantah tidak berpartisipasi dalam program biodiesel nasional. Walaupun pada periode tahun 2014–2018 biodiesel minyak jelantah dimasukkan ke dalam program nasional, penggunaannya berakhir karena terbatasnya pasokan bahan baku dan tingginya biaya produksi biodiesel minyak jelantah (EBTKE, 2021). Namun demikian, terlepas dari program biodiesel pemerintah pusat, beberapa kota di tingkat lokal berupaya untuk menggunakan minyak jelantah untuk memproduksi biodiesel. Misalnya, kota Bogor mencoba menjalankan program biodiesel minyak jelantah tahun 2008–2015, tetapi program tersebut terhenti karena beberapa alasan, antara lain pasokan bahan baku yang tidak konsisten, pencampuran yang tidak konsisten, dan rendahnya kualitas biodiesel (yang tampaknya menimbulkan kerusakan pada bus kota) (Kharina dkk., 2018). Dalam hal ini, program biodiesel di kota Bogor tidak memenuhi standar nasional SNI terutama karena bahan baku tidak diolah terlebih dahulu (Kharina dkk., 2018).

Terlepas dari kesulitan di masa lalu, analisis industri dan beberapa studi akademik menunjukkan bahwa biodiesel yang diproduksi dari minyak jelantah di Indonesia dapat memenuhi standar nasional (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022; Wicaksono dkk. 2019; Zalfiatri dkk., 2019; Efendi dkk., 2018). Terlebih lagi, beberapa perusahaan di Indonesia memproduksi biodiesel minyak jelantah dengan kualitas tinggi. Misalnya, dua perusahaan biodiesel minyak jelantah yang terdaftar di Kementerian ESDM, Alpha Global Cinergy dan Bali Hijau Biodiesel, telah memenuhi standar biodiesel nasional (EBTKE, 2021). Selain itu, beberapa perusahaan, termasuk Artha Metro Oil, GenOil, Aqua Danone, Unilever, dan Cargill, telah memproduksi biodiesel minyak jelantah secara terbatas untuk penggunaan internal atau untuk dijual di dalam negeri (Kristiana dkk., 2022; TNP2K & Traction, 2020). Sebuah perusahaan berbasis masyarakat di Kalimantan juga memproduksi biodiesel minyak jelantah untuk penggunaan internal mereka (EBTKE, 2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguraikan proses yang dapat digunakan di Indonesia untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi khususnya dengan bahan baku minyak jelantah. Kami memberikan informasi terperinci tentang opsi produksi yang dapat digunakan secara efektif di Indonesia, termasuk opsi pengolahan awal (*pretreatment*), transesterifikasi, dan pemurnian pasca produksi. Dalam penelitian ini dibahas pula penggunaan antioksidan untuk menjaga kualitas biodiesel selama penyimpanan. Akhirnya, kami membandingkan biaya produksi biodiesel dengan bahan baku minyak jelantah dan CPO. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi dan murah secara teknis dapat diproduksi di Indonesia apabila dilakukan pengolahan awal dan akhir yang tepat, terutama jika pemerintah Indonesia mendukung dan memberikan insentif produksi melalui peraturan yang tepat.

## Produksi biodiesel minyak jelantah

Gambar 1 mengilustrasikan proses umum produksi biodiesel. Namun demikian, perlu dipahami karakteristik minyak jelantah dalam konteks proses umum tersebut. Minyak jelantah terkontaminasi oleh produk-produk pangan dan mengandung air serta kotoran seperti asam lemak bebas (*free fatty acid*, FFA) molekul yang lepas dari gliserol (Skelton, 2009; Susilowati dkk., 2019). Jumlah FFA dan air dalam minyak jelantah akan menentukan proses pemurnian pada pengolahan awal (*pre-treatment*), transesterifikasi, dan pengolahan akhir (*post-treatment*) mana yang diperlukan untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Dalam beberapa penelitian (Aeni, 2020; Efendi dkk., 2018; Wicaksono dkk., 2019; Yuarini dkk., 2018) telah dievaluasi sampel minyak jelantah dari berbagai sumber di seluruh Indonesia (misalnya, restoran, hotel, pedagang kaki lima dan makanan ringan, dll.). Para peneliti menemukan bahwa minyak jelantah di Indonesia memiliki kandungan air kurang dari 1% dan kandungan FFA antara 1-2%. Angka ini dianggap tinggi dan menunjukkan perlunya langkah tambahan berupa pengolahan awal dan akhir.



**Gambar 1.** Gambaran umum sederhana produksi biodiesel (Kristiana & Baldino, 2021)

Sementara biodiesel minyak jelantah tidak diproduksi secara besar-besaran di Indonesia, Eropa telah memiliki industri biodiesel minyak jelantah yang matang. Gambar 2 mengilustrasikan proses yang biasa dilakukan di Eropa untuk memproduksi biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi. Proses ini terdiri atas tiga langkah, yaitu pengolahan awal, transesterifikasi, dan distilasi. Selama pengolahan awal, padatan dan kelembaban di minyak jelantah disingkirkan melalui proses pemanasan, filtrasi, dan pengendapan. Selanjutnya, minyak jelantah dicampur dengan katalis untuk menghilangkan asam lemak bebas (FFA). Kemudian biodiesel mentah diproduksi melalui transesterifikasi. Setelah proses transesterifikasi, kotoran yang tersisa diolah melalui distilasi untuk menghasilkan biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi.



**Gambar 2.** Proses produksi biodiesel minyak jelantah yang umum ditemukan di Eropa

Bagian selanjutnya berisi penjelasan tentang langkah-langkah dalam proses produksi di Eropa secara lebih terperinci dan beberapa opsi lain yang tersedia dalam industri biodiesel. Pemilihan opsi dari antara daftar ini yang paling sesuai dengan kondisi tertentu akan membantu produsen biodiesel Indonesia dalam memanfaatkan minyak jelantah sehingga memenuhi standar biodiesel nasional untuk kendaraan darat.

### Pengolahan awal (*pretreatment*)

Proses pengolahan awal (*pretreatment*) akan menghasilkan biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi melalui penyingkiran padatan, air, dan kandungan FFA. Di dalam studi ini dijelaskan tentang berbagai opsi dalam lima kategori pengolahan awal (*pretreatment*), yaitu penghilangan padatan, pengolahan awal FFA, pengolahan awal FFA berskala laboratorium, pengolahan awal kelembaban/air berskala laboratorium, dan *degumming*.

#### 1. Penghilangan padatan

Dalam pengolahan minyak jelantah, tersedia dua opsi untuk menghilangkan materi partikulat dan padatan tersuspensi, seperti sisa makanan, yaitu melalui filtrasi/pengendapan (*settlement*) dan sentrifugasi.

*Filtrasi/pengendapan:* Minyak jelantah dipanaskan dan disaring. Setelah minyak jelantah mengendap di tangki, kotoran dan air akan terkumpul di bagian dasar (O’Connell, 2004). Pemanasan juga membantu mengurangi kadar air dan mempertahankan kualitas awal minyak dengan berkurangnya kotoran (yaitu, asam dan peroksida) (Gürdil dkk., 2020; O’Connell, 2004). Opsi ini merupakan proses yang umumnya ditemukan di Eropa.

*Sentrifugasi:* Dalam proses ini, kotoran padat diolah dan kadar air dikurangi (Cardenas dkk., 2021). Proses ini biasanya diterapkan di fasilitas berskala besar, paling sering di Eropa dan Amerika Utara untuk biodiesel yang berasal dari minyak nabati (Neuman, 2014). Proses ini melibatkan biaya modal dan operasional yang relatif lebih tinggi.

#### 2. Pengolahan awal FFA

Kandungan FFA yang tinggi dapat menyebabkan terbentuknya sabun dan air selama proses produksi biodiesel sehingga dapat merusak mesin kendaraan (Biofuels International, 2021; Gnanaprakasam dkk., 2013). Ada lima praktik pengolahan awal FFA yang tersedia secara komersial, yaitu: esterifikasi, adsorpsi, netralisasi, distilasi/deodorisasi, dan gliserolisis.

*Esterifikasi:* Dalam proses ini, minyak jelantah dicampur dengan enzim (misalnya, enzim lipase) atau yang lebih umum, katalis asam (Cardenas dkk., 2021). FFA dan senyawa asam lainnya diubah menjadi ester. Alkohol monohidroksilik sering digunakan karena lebih mudah dihilangkan dan diperoleh kembali dari minyak jelantah. Senyawa ester yang dihasilkan dalam proses ini bervariasi, tergantung dari jenis alkohol yang digunakan dalam proses esterifikasi. Misalnya, dengan menggunakan metanol, reaksinya akan menghasilkan UCO FAME (UCOME) (yaitu, biodiesel ester). Metode ini memiliki beberapa kelemahan seperti rendahnya perolehan katalis, katalis yang menyebabkan korosi pada peralatan, dan biaya pemrosesan yang relatif tinggi. Proses ini termasuk dalam proses yang umumnya ditemukan di Eropa.

*Adsorpsi:* Metode pengolahan awal (*pretreatment*) ini memiliki keunggulan ekonomi karena biaya yang rendah dan fleksibilitas operasinya. Dengan metode pengolahan ini, FFA, kelembaban, dan senyawa polar lainnya seperti peroksida disingkirkan (Foo dkk., 2022). Dalam proses ini, minyak jelantah dibiarkan bersentuhan dengan bahan aktif yang secara selektif mempertahankan beberapa komponen campuran cair termasuk senyawa polar (Cardenas dkk., 2021; Ju dkk., 2019). Bahan adsorben yang paling umum adalah karbon aktif, resin penukar ion, lempung, silikat, dan aluminium silikat. Zeolit, magnesol, gel silika, magnesium oksida, dan aluminium hidroksida juga digunakan meskipun lebih jarang digunakan (Schneider dkk., 2017; Shahdan & Hirzin, 2021). Adsorben yang umum tersedia memiliki harga yang tinggi dan para peneliti sedang mencari alternatif, seperti sisa-sisa produk pertanian berupa sekam padi, sabut kelapa, dan ampas tebu. Schneider dkk. (2017) menemukan bahwa sekam padi dapat menghilangkan keasaman minyak jelantah dengan efektivitas yang setara karbon aktif. Selain menyingkirkan FFA, penggunaan adsorpsi pada minyak jelantah berupa karbon aktif juga dapat mengurangi nilai asam lain dan mengatasi kandungan polimer serta kotoran lain pada minyak jelantah (Phillips, 2019). Namun demikian, adsorpsi menyisakan sebagian besar minyak yang melekat pada bahan padat, sehingga mengakibatkan hilangnya minyak jelantah. Walaupun adsorpsi telah dikembangkan dengan baik dalam skala industri untuk memurnikan minyak nabati, proses yang berlangsung pada industri saat ini tidak sesuai untuk minyak jelantah.

*Netralisasi:* Melalui metode ini, minyak jelantah dicampurkan ke dalam larutan basa (misalnya, kalium hidroksida atau natrium hidroksida), yang kemudian mengubah FFA menjadi sabun padat (Cardenas dkk., 2021; Foo dkk., 2022). Sabun yang tidak larut dalam minyak tersebut disingkirkan dengan terlebih dahulu mencuci campuran dengan menyemprotkan air dan kemudian dengan dekantasi atau sentrifugasi. Netralisasi pada umumnya digunakan dalam industri minyak nabati, yang dikenal sebagai pemurnian kimia (Cardenas dkk., 2021). Pengolahan ini tidak direkomendasikan untuk minyak jelantah, terutama minyak jelantah dengan kandungan FFA lebih besar dari 5% dari beratnya, mengingat jumlah larutan basa yang diperlukan. Selain itu, metode ini menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar.

*Distilasi/deodorisasi:* Dalam industri minyak nabati, *vacuum* dan *stripping* distilasi biasanya digunakan untuk menyingkirkan FFA (biasanya apabila komposisinya kurang dari 10% dari minyak). Dalam praktik industri, distilasi dikombinasikan dengan adsorpsi untuk menyingkirkan senyawa polar (Foo dkk., 2022). Cardenas dkk. (2021) berpendapat bahwa dibandingkan dengan netralisasi dan esterifikasi, metode distilasi menghasilkan limbah dalam jumlah lebih sedikit, kehilangan minyak lebih kecil, dan FFA dengan kualitas yang cukup tinggi untuk menghasilkan produk lain. Metode ini juga dapat membantu menyingkirkan kotoran lainnya (Foo dkk., 2022). Namun demikian, dibandingkan dengan opsi pengolahan awal lainnya, distilasi membutuhkan biaya modal dan operasional yang tinggi karena membutuhkan peralatan vakum, konsumsi energi yang besar, dan suhu yang tinggi. Meskipun tidak termasuk dalam proses yang biasa ditemukan di Eropa, sebagian besar minyak jelantah di Indonesia dapat diolah terlebih dahulu dengan proses ini (karena distilasi telah digunakan dalam industri minyak nabati Indonesia).

*Gliserolisis:* Dalam proses ini, gliserol, produk sampingan dalam produksi biodiesel ditambahkan ke dalam minyak jelantah yang memiliki FFA dalam jumlah besar (biasanya lebih tinggi dari 5%). Di bawah suhu tinggi, gliserol tersebut menyatu kembali dengan FFA sehingga membentuk gliserida (Kombe dkk., 2013; Mamtani dkk., 2021). Sebuah studi yang dilakukan oleh Kombe dkk. (2013) mencatat bahwa proses ini dapat dilakukan dengan menambahkan katalis logam, seperti seng klorida (*zinc chloride*) dan seng serbuk (*zinc dust*) atau tanpa katalis. Keunggulan proses ini adalah tersedianya gliserol, tidak diperlukannya alkohol (tidak seperti dalam esterifikasi), dan air dari reaksi tersebut menguap dengan cepat (Kombe dkk., 2013; Mamtani dkk., 2021). Metode

ini telah didemonstrasikan pada skala industri. JatroDiesel, sebuah perusahaan yang berbasis di Amerika Serikat, menjual unit untuk proses gliserolisis bahan baku dengan berbagai tingkat FFA (Voegelé, 2012; Tafesh & Basheer, 2013). Namun demikian, metode ini memerlukan suhu tinggi dengan tingkat reaksi lambat.

### 3. Pengolahan awal FFA berskala laboratorium

Minyak jelantah semakin banyak digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Dengan demikian, proses pengolahan awal yang baru sedang dalam tahap pengembangan. Ada empat opsi pengolahan awal berskala laboratorium yang sedang dikembangkan, yaitu ekstraksi pelarut, teknologi membran, kromatografi kolom, dan pengolahan secara biologi (*biotreatment*).

*Ekstraksi pelarut:* Dalam proses ini, pelarut (yaitu, agen pemisah) menyingkirkan kotoran dari minyak jelantah (Cardenas dkk., 2021). Pelarut yang dipilih akan menentukan kondisi pengoperasian untuk proses ini, seperti suhu didih, efektivitas pemisahan, dan kelayakan ekonomi teknologinya. Walaupun metode ini cukup menjanjikan untuk menyingkirkan FFA dalam penyulingan minyak nabati, penerapannya untuk minyak jelantah tetap terbatas. Pengujian dan studi lebih lanjut sedang dilakukan. Sebagai contoh, Rincon dkk. (2021) menguji proses ini pada minyak jelantah dengan menggunakan metanol, etanol, dan isopropanol sebagai pelarut. Selain itu, sebuah studi yang dilakukan oleh Foo dkk. (2022) mencatat bahwa jika dikombinasikan dengan air atau larutan asam berair, proses ini dapat menyingkirkan kadar air dan kotoran dari minyak jelantah.

*Teknologi membran:* Dalam proses ini, membran permeabel memisahkan kotoran di bawah gradien tekanan (Cardenas dkk., 2021). Metode ini memiliki beberapa keunggulan, termasuk hasil minyak jelantah yang relatif lebih tinggi dan konsumsi energi yang rendah. Metode ini dapat diterapkan pada minyak dengan kualitas apa pun dan tidak memerlukan bahan kimia tambahan (Cardenas dkk., 2021; Foo dkk., 2022). Namun demikian, harga membran membuat biaya proses ini menjadi lebih mahal dibandingkan opsi pengolahan awal lainnya. Proses ini juga memiliki siklus daur ulang yang pendek yang berarti menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar. Untuk sementara, penerapan proses ini terbatas pada skala laboratorium dan percontohan.

*Kromatografi kolom:* Lee dkk. (2002) melakukan uji laboratorium untuk mengolah minyak jelantah dari restoran dengan kandungan FFA 10–15%. Dalam proses yang mereka gunakan, yaitu kromatografi kolom, minyak jelantah dicampur dengan heksana, lalu disaring, dan dialirkan melewati kolom. Setelah heksana menguap, minyak jelantah yang telah bebas FFA dapat diperoleh kembali. Selanjutnya, minyak jelantah memasuki proses katalis basa yang disebut alkoholisis, dengan menggunakan alkohol seperti metanol. Metode ini memiliki keunggulan berupa hasil bahan baku yang relatif lebih tinggi dan kemampuannya untuk menyingkirkan kadar air.

*Pengolahan secara biologis (Biotreatment):* Hasil awal uji laboratorium pendahuluan menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat mengonsumsi beberapa (namun tidak semua) jenis FFA (Cardenas dkk., 2021). Asam lemak rantai pendek misalnya, dapat memblokir mikroorganisme tersebut. *Biotreatment* terutama digunakan untuk mendapatkan produk bernilai tambah seperti lipid. Pengembangan metode ini untuk menyingkirkan FFA pada minyak jelantah menghadapi beberapa tantangan, seperti tingginya biaya dan perlunya menghilangkan mikroorganisme yang digunakan.

### 4. Pengolahan awal terhadap kelembaban/air berskala laboratorium

Pengolahan awal terhadap kelembaban/air dapat dilakukan apabila produsen bermaksud mengurangi kadar air sampai dengan kurang dari 0,5% untuk mendapatkan hasil biodiesel 90% (Gnanaprakasam dkk., 2013). Kandungan air dalam minyak jelantah dapat mempercepat proses hidrolisis gliserida menjadi FFA, dimana tidak diharapkan,

dan sekaligus menghambat pembentukan ester akibat sensitivitas katalis terhadap air (Foo dkk., 2022). Secara umum, opsi pengolahan awal sebagaimana dijelaskan sebelumnya dapat menyingkirkan air serta kotoran lainnya. Tiga metode tambahan dalam pengolahan awal kelembaban (penggunaan microwave, bahan kimia/pengering, dan modul pengolahan awal/*pretreatment modules*) akan dijelaskan pada bagian ini.

*Microwave*: Jika pemanasan selama penyingkiran zat padat, yang merupakan bagian dari proses yang biasa ditemukan di Eropa, dianggap sebagai proses yang membutuhkan energi yang intensif, alternatif yang tersedia adalah dengan menggunakan *microwave* untuk menguapkan air (Cardenas dkk., 2021). Suhu pemanasan *microwave* lebih rendah dibandingkan dengan suhu selama penyingkiran zat padat dan akan mencapai efisiensi pemisahan yang tinggi. Namun demikian, metode ini berisiko menimbulkan panas berlebih yang dapat merusak molekul organik.

*Bahan kimia dan pengering*: Kelembaban dapat dihilangkan dengan menggunakan bahan kimia dan pengering seperti gel silika, magnesium sulfat, atau natrium sulfat (Cardenas dkk., 2021; Palanisamy dkk., 2013). Akan tetapi, metode ini akan meningkatkan biaya produksi karena bahan kimia yang digunakan terbatas untuk diregenerasi, membutuhkan energi yang intensif, dan menghasilkan limbah (Cardenas dkk., 2021; Palanisamy dkk., 2013).

*Modul pengolahan awal*: Kandungan air dalam minyak jelantah juga dapat dihilangkan melalui proses “modul pengolahan awal” sebagaimana dijelaskan dalam percobaan laboratorium yang dilakukan oleh Palanisamy dkk. (2013). Modul dilengkapi dengan pompa vakum dan sistem kondensor untuk mengurangi suhu uap air. Modul tersebut mengurangi kadar air minyak jelantah dan beroperasi pada suhu 100 derajat Celcius. Metode ini menghabiskan setengah energi dari metode pemanasan konvensional.

## 5. Degumming

Selain FFA, kelembaban, dan kotoran padat dalam minyak jelantah, kotoran lain seperti polimer dan fosfolipid harus disingkirkan selama pengolahan biodiesel. Kehadiran fosfolipid dalam bahan baku dapat mempersulit pemisahan produk dan menimbulkan masalah dalam penyimpanan dengan terbentuknya endapan atau *gums* (Tafesh & Basheer, 2013). Selanjutnya, fosfolipid dapat memblokir katalis selama proses produksi FAME (Kanakraj dan Dixit, 2026). Beberapa metode *degumming* untuk menghilangkan fosfolipid digunakan dalam industri penyulingan minyak nabati, yaitu *degumming* membran, *degumming* enzim, *degumming* air, dan *degumming* total. Proses *degumming* air, misalnya, berlangsung melalui hidrasi bahan baku dengan air untuk menyingkirkan fosfolipid (Rincon dkk., 2021).

## Transesterifikasi

Setelah pengolahan awal, minyak jelantah memasuki proses transesterifikasi, di mana terjadi reaksi dengan metanol atau alkohol lain dan katalis untuk menghasilkan FAME dan produk sampingan. Penggunaan katalis akan mempercepat proses tersebut. Transesterifikasi non-katalitik membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi. Metanol lebih sering digunakan daripada jenis alkohol lainnya karena kecepatannya dengan trigliserida dan kemampuannya untuk larut dengan katalis.

Proses transesterifikasi dengan katalis basa merupakan bagian dari proses di Eropa dan dikombinasikan dengan pengolahan awal esterifikasi (lihat Gambar 2). Kombinasi kedua proses ini merupakan hal yang biasa terjadi pada industri biodiesel khususnya yang menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku. Proses ini tidak berlaku untuk minyak nabati olahan yang tidak memerlukan pengolahan esterifikasi. Proses ini merupakan cara yang efektif untuk mengubah trigliserida menjadi ester ketika kadar FFA kurang dari 1%, yang dimungkinkan untuk minyak jelantah di Indonesia. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, esterifikasi FFA yang terdapat dalam

minyak jelantah dilakukan dengan menggunakan katalis asam untuk menurunkan kadar FFA hingga kurang dari 1%. Hal ini penting karena katalis basa cukup sensitif terhadap FFA (San, 2017; Banerjee & Chakraborty, 2009).

Secara umum, proses produksi berbasis katalis basa membutuhkan suhu sedang dan tekanan rendah agar berfungsi dan mencapai efisiensi konversi yang tinggi dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan proses lainnya. Kelemahan utama dari proses ini adalah pembentukan sabun yang dapat mengurangi tingkat konversi. Katalis basa yang digunakan dalam transesterifikasi adalah natrium metoksida ( $\text{CH}_3\text{ONa}$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ ), atau kalium metoksida ( $\text{CH}_3\text{KO}$ ). Di antara katalis tersebut,  $\text{KOH}$  lebih umum digunakan oleh produsen untuk membuat biodiesel dari minyak jelantah. Selain itu, berdasarkan studi ditemukan bahwa  $\text{KOH}$  merupakan katalis yang paling efektif untuk transesterifikasi minyak jelantah.

### **Pemurnian dan pengolahan akhir (*post-treatment*)**

Biodiesel mentah biasanya masih mengandung kotoran, seperti metanol, FFA, katalis, air, dan gliserida (terutama jika produsen menggunakan bahan baku berkualitas rendah, seperti minyak jelantah). Kotoran dalam biodiesel perlu disingkirkan untuk mencegah dampak negatif terhadap solar yang menjadi campurannya dan terhadap mesin (Berrios dkk., 2011). Bagian ini menjelaskan secara lebih terperinci lima metode pemurnian atau pengolahan akhir yang dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi, yaitu: distilasi, pencucian basah, pencucian kering, reaktor membran, dan ekstraksi cairan.

*Distilasi:* Untuk mendapatkan produk final biodiesel minyak jelantah yang memenuhi spesifikasi seperti standar biodiesel Indonesia, disarankan agar produsen melakukan distilasi. Dikenal beberapa teknik distilasi, seperti distilasi konvensional (distilasi biasa, vakum, dan uap), distilasi azeotrop, distilasi reaktif, dan distilasi molekuler. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa distilasi konvensional dan molekuler menghasilkan FAME dengan kualitas lebih tinggi (Torres dkk., 2017; Xie dkk., 2019; Wang dkk., 2010). Namun demikian, proses ini dapat berdampak terhadap karakteristik oksidatif biodiesel dan membutuhkan suhu tinggi sehingga meningkatkan biaya operasional dibandingkan dengan teknik pemurnian lainnya. Proses ini tersedia secara komersial dan termasuk dalam proses di Eropa.

*Pencucian basah:* Dalam proses ini biodiesel mentah dicuci dengan air asam hangat (Demirbas, 2008). Cara ini diadopsi dalam proses konvensional dengan menggunakan katalis basa, terutama dalam produksi berskala besar. Metode ini dapat menyingkirkan kandungan kontaminan yang lebih tinggi secara efisien, tetapi membutuhkan peralatan dan biaya energi yang tinggi karena melibatkan beberapa langkah seperti pengolahan air, distilasi metanol, dan pengeringan gliserol (Dimian & Kiss, 2019).

*Pencucian kering (pertukaran ion atau penggunaan adsorben):* Proses ini biasanya melibatkan pencucian biodiesel mentah dengan resin penukar ion atau serbuk magnesium silikat (Skelton dalam Waldron, 2009). Apabila digunakan resin penukar ion, biodiesel minyak jelantah dimasukkan melalui kolom resin pada suhu ruangan. Biodiesel kemudian dicuci dengan metanol. Resin yang digunakan dalam proses tersebut dapat diregenerasi dan digunakan kembali (Berrios dkk., 2011). Pendekatan ini cukup populer di kalangan produsen kecil, karena tidak melibatkan pengolahan air limbah dan cocok untuk mengurangi gliserol dari FAME mentah (Dimian & Kiss, 2019). Metode ini digunakan pada skala komersial di Indonesia. GenOil, produsen biodiesel minyak jelantah, menggunakan metode ini untuk memurnikan FAME (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022). Salah satu kelemahan metode ini adalah tingginya harga resin (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022). Penggunaan bubuk magnesium silikat sebagai adsorben dipromosikan pada skala industri di Inggris

dan Amerika Serikat (Skelton dalam Waldron, 2009), namun metode ini menghasilkan limbah padat.

*Reaktor membran:* Reaktor membran biasanya digunakan dalam industri biodiesel minyak nabati untuk proses pemurnian dengan memanfaatkan sifat metanol dan minyak nabati yang tidak dapat tercampur (Talebian-Kiakalaieh dkk., 2013). Ada dua jenis membran, yaitu membran organik dan anorganik. Proses ini menawarkan biaya produksi yang lebih rendah mengingat reaksi dan langkah pemisahan yang terintegrasi serta pembuangan limbah yang relatif mudah. Namun demikian, metode ini mengharuskan pemurnian metanol dan perlunya pembersihan membran.

*Ekstraksi cairan:* Pada skala laboratorium, melalui proses ekstraksi cairan biodiesel dicuci dengan air sulingan, air keran, atau gliserol pada suhu ruangan, kemudian dibiarkan mengendap, dan terakhir dipisahkan dengan sentrifugasi (Berrios dkk., 2011). Pengujian menunjukkan bahwa metode ini dapat menyingkirkan semua kotoran. Residu gliserol juga bisa menjadi produk sampingan dari metode ini.

### **Rangkuman opsi pengolahan awal dan akhir (*pre- and post-treatment*)**

Proses produksi biodiesel minyak jelantah dan CPO memiliki perbedaan paling nyata dalam hal langkah-langkah pada pengolahan awal dan akhir. Tabel 1 merangkum opsi pengolahan awal dan akhir untuk biodiesel minyak jelantah. Proses yang termasuk dalam proses khas Eropa ditandai dengan warna kuning.

**Tabel 1.** Opsi pengolahan awal dan akhir untuk biodiesel minyak jelantah.

Pengolahan		Tingkat Teknologi	Keunggulan	Kekurangan
<b>Penyingkiran padatan</b>	Filtrasi dan pengendapan	Matang	Berpotensi mengurangi pembuangan limbah padat dan memungkinkan untuk memperoleh kembali minyak yang terperangkap dalam lemak	Memerlukan suhu tinggi (yaitu energi intensif); memerlukan pengolahan awal lanjutan untuk menyingkirkan kotoran lain, seperti asam lemak bebas
	Sentrifugasi	Matang	Berpotensi mengurangi pembuangan limbah padat dan memungkinkan untuk memperoleh kembali minyak yang terperangkap dalam lemak	Biaya modal dan operasional yang tinggi; biasanya digabungkan dengan metode pengolahan awal lainnya
<b>Pengolahan awal asam lemak bebas (<i>Free fatty acid, FFA</i>)</b>	Esterifikasi	Matang	Berlaku untuk minyak dengan kualitas apa pun; efisiensi tinggi; dapat dikombinasikan dengan transesterifikasi; memproduksi produk sampingan ester yang bernilai untuk digunakan dalam produksi bahan kimia lainnya	Biaya pengolahan tinggi; menghasilkan limbah cair; katalis asam menyebabkan peralatan mengalami korosi; rendahnya perolehan kembali katalis ( <i>catalyst recovery</i> )
	Adsorpsi	Matang	Konsumsi energi rendah; berlaku untuk minyak dengan kualitas apa pun; menghasilkan limbah cair dalam jumlah rendah; secara bersamaan dapat menyingkirkan kotoran lainnya	Menghasilkan limbah padat; konsumsi adsorben dalam jumlah besar; persentase retensi rendah
	Netralisasi	Matang	Berlaku untuk minyak dengan kualitas apa pun dengan FFA kurang dari 5%;	Kerugian minyak tinggi; menghasilkan sabun dan air limbah sebagai produk sampingan; konsumsi air dalam volume tinggi untuk proses pencucian
	Distilasi	Matang	Sederhana dan umum di Indonesia; konsumsi air rendah; dapat memperoleh kembali FFA dengan kualitas yang cukup tinggi untuk digunakan dalam produk lain; kehilangan minyak dalam jumlah kecil	Biaya modal dan operasional yang tinggi; konsumsi energi tinggi; sistem vakum dapat menghasilkan air limbah dalam jumlah besar
	Gliserolisis	Matang	Dirancang untuk mengolah kandungan FFA yang tinggi (di atas 5%); katalis bersifat opsional; menggunakan gliserol, produk sampingan biodiesel, yang menurunkan biaya produksi biodiesel; tidak memerlukan alkohol dalam prosesnya; kemampuan mengonversikan kembali FFA menjadi molekul gliserida	Memerlukan suhu tinggi; tingkat reaksi lambat
	Ekstraksi pelarut	Skala laboratorium	Menyingkirkan FFA berikut kotoran lainnya	Diperlukan kehati-hatian dalam memilih pelarut
	Teknologi membran	Skala laboratorium/percontohan	Berlaku untuk minyak dengan kualitas apa pun; konsumsi energi rendah; efisiensi tinggi; tidak diperlukan bahan kimia tambahan; hasil minyak jelantah relatif tinggi	Menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar; biaya membran yang tinggi
	Kromatografi kolom	Skala laboratorium	Dapat mengolah minyak jelantah dengan kandungan FFA yang tinggi (10-15%); meningkatkan angka konversi bahan baku; secara bersamaan menyingkirkan kelembaban	Proses panjang dan lambat
	Pengolahan biologis ( <i>Biotreatment</i> )	Skala laboratorium	Menghasilkan produk bernilai tambah	Biaya produksi tinggi; pemisahan yang tidak efisien; kadang-kadang terjadi kendala
<b>Pengolahan awal terhadap kelembaban</b>	Microwave	Skala laboratorium	Konsumsi energi rendah untuk pemanasan; proses cepat; efisiensi pemisahan tinggi	Risiko panas berlebih yang dapat merusak beberapa molekul organik
	Bahan kimia/pengering	Skala laboratorium	pengering dapat dipulihkan kembali	Meningkatkan biaya produksi karena terbatasnya regenerasi bahan kimia; bersifat energi intensif; menghasilkan limbah
	Modul pengolahan awal	Skala laboratorium	Persyaratan suhu sedang dan konsumsi energi lebih rendah jika dibandingkan dengan metode pemanasan konvensional	
<b>Degumming</b>	<i>Degumming</i> membran, enzim, air, <i>degumming</i> total	Matang	Menyingkirkan beberapa jenis kotoran; mencegah pembentukan endapan <i>gum</i>	Memerlukan suhu tinggi dan muatan air tinggi untuk memperoleh ekstraksi yang lebih baik
<b>Pemurnian &amp; pengolahan akhir</b>	Distilasi	Matang	Menghasilkan FAME berkualitas tinggi; memiliki banyak opsi distilasi	Berdampak pada karakteristik oksidatif biodiesel; biaya teknologi yang tinggi; memerlukan suhu tinggi
	Pencucian basah	Matang	Pengolahan efisien untuk kandungan kotoran yang tinggi; cocok sebagai lanjutan proses transesterifikasi basa; biaya lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya	Menghasilkan volume limbah cair dalam jumlah besar; pengurangan gliserol tidak seefektif pada pencucian kering
	Pencucian kering	Matang	Resin dapat menyingkirkan sabun, gliserol dan katalis secara efisien; resin dapat diregenerasi dan digunakan kembali; menghasilkan limbah cair dalam jumlah kecil	Harga resin yang tinggi; menghasilkan limbah padat; tidak dapat menyingkirkan metanol
	Reaktor membran	Matang	Biaya relatif rendah mengingat prosesnya yang terintegrasi; tidak menghasilkan limbah; sabun dan gliserol dapat disingkirkan dengan mudah	Membran harus dibersihkan; metanol harus dimurnikan agar dapat digunakan kembali
	Ekstraksi cairan	Skala laboratorium	Proses berlangsung dalam suhu ruangan; dapat menyingkirkan semua kotoran	

## Penyimpanan biodiesel

Praktik umum berikutnya dalam industri biodiesel adalah penyimpanan. Selama penyimpanan, biodiesel harus tetap stabil untuk menghindari terbentuknya *gum* dan sedimen yang dapat menyumbat filter dan membentuk endapan pada komponen bahan bakar, seperti pada pompa bahan bakar dan injektor. Selanjutnya, degradasi oksidatif terjadi selama penyimpanan jangka panjang, yang juga mempengaruhi kualitas biodiesel (Dunn, 2008). Dunn (2008) mencatat bahwa antioksidan merupakan metode berbiaya rendah yang menjanjikan untuk meningkatkan ketahanan biodiesel terhadap oksidasi.

Biodiesel memiliki tingkat stabilitas oksidatif yang bervariasi karena perbedaan antioksidan alami, yang berdampak terhadap jenis antioksidan yang harus ditambahkan (Tang dkk., 2008). Ada dua sumber antioksidan yang berbeda, yaitu alami dan buatan. Antioksidan alami termasuk tokoferol (senyawa dalam minyak nabati) dan vitamin E. Beberapa penelitian menemukan bahwa antioksidan buatan (yang meliputi pirogalol, asam galat, dan propil galat) bersifat lebih efektif dibandingkan dengan antioksidan alami (Dunn, 2008; Jain & Sharma, 2010; Sarin dkk., 2010). Antioksidan buatan pada umumnya disukai oleh produsen karena efektivitasnya dalam mengolah biodiesel, baik yang telah melalui distilasi maupun yang belum mengalami distilasi.

## Perbandingan antara minyak jelantah dan CPO sebagai bahan baku biodiesel

Penelitian ini menguraikan beberapa opsi pengolahan awal dan akhir dalam memproduksi biodiesel minyak jelantah. Kotoran dalam minyak jelantah membutuhkan pengolahan ekstensif, sementara beberapa opsi pengolahan membutuhkan biaya lebih mahal dibandingkan yang lain. Pada bagian ini, kami menawarkan contoh-contoh biaya produksi biodiesel minyak jelantah dengan menggunakan beberapa opsi pengolahan yang berbeda.

Sebuah studi yang dilakukan oleh Sutanto dkk. (2021) memodelkan pendirian pabrik biodiesel minyak jelantah baru dengan dua langkah pengolahan awal, esterifikasi, dan netralisasi. Dengan kapasitas pabrik sekitar 50.000 ton per tahun dan dua tahap pengolahan awal tersebut, biaya bersih biodiesel minyak jelantah mencapai Rp10.152 per liter.

Selain dari studi tersebut, produsen biodiesel minyak jelantah di Indonesia, GenOil, menggunakan adsorpsi sebagai metode pengolahan awal dan resin penukar ion untuk pengolahan akhir (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022). Sebagaimana disebutkan sebelumnya, harga resin yang tinggi membuat biaya produksi semakin meningkat. Berdasarkan informasi GenOil, total biaya produksi mereka mencapai Rp8.675 per liter (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022).

Biaya produksi biodiesel minyak jelantah yang sedikit lebih murah diperoleh dari hasil penelitian Ula dan Kurniadi (2017) yang menggunakan metode pemanasan awal untuk menurunkan kadar air sebelum proses transesterifikasi. Dengan hanya satu metode pengolahan awal, biaya produksi mengalami penurunan menjadi Rp7.214 per liter.

Namun demikian, terlepas dari opsi pengolahan awal dan akhir, biaya bahan baku memberikan pengaruh paling besar terhadap biaya produksi. Sebagai contoh, biaya bahan baku GenOil adalah Rp6.000, yang merupakan 69% dari total biaya produksinya (GenOil, komunikasi pribadi, 3 Februari 2022). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ula dan Kurniadi (2017), biaya bahan baku mencapai Rp3.000 per liter atau 42% dari total biaya produksi.

CPO merupakan bahan baku dalam program biodiesel di Indonesia. Walaupun CPO dianggap memiliki kualitas lebih tinggi daripada minyak jelantah, perlu dicatat bahwa

tandan buah segar (TBS) kelapa sawit mengalami lima proses ekstraksi sebelum menjadi CPO (Jilan, 2021), yaitu:

1. Pemuatan TBS ke *ramp station*
2. Sterilisasi TBS
3. Perontokan (*threshing*)
4. Pelumatan dan pengempaan (*digesting and pressing*)

Sama halnya dengan minyak jelantah, CPO dan minyak nabati lainnya memiliki kandungan FFA dan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CPO yang diproduksi di Indonesia memiliki kandungan FFA di atas 3% dan kadar air di bawah 1% (Ihsan & Fajri, 2019; Yuniva, 2010). Mengingat CPO mengandung kotoran, diperlukan pengolahan awal seperti *degumming*, pengikisan (*bleaching*), netralisasi, atau deodorisasi sebelum transesterifikasi.

Jilan (2021) menyajikan biaya berbagai proses dalam produksi CPO dari badan usaha milik negara, PTPN III. Kami menggunakan komponen biaya tersebut untuk menghitung biaya produksi dasar (tanpa margin keuntungan) untuk memperoleh biaya produksi CPO sebesar Rp9.349 per kg. Harga CPO mewakili sebagian besar dari biaya ini. Namun demikian, Jilan (2021) menggunakan harga minyak sawit bulan Oktober 2020, yang mencapai kisaran harga CPO lebih tinggi selama lima tahun terakhir (Palm Oil Analytics, 2023).

Biaya produksi CPO, yang kami anggap sebagai biaya bahan baku, merupakan bagian dominan dari biaya produksi biodiesel. Dalam program biodiesel Indonesia, pemerintah menetapkan biaya tetap produksi biodiesel CPO, tidak termasuk biaya bahan baku, sebesar \$85 per metrik ton (Rp1.058 per liter dengan menggunakan nilai tukar rata-rata dolar AS terhadap rupiah tahun 2021). Produsen biodiesel harus membayar biaya produksi yang lebih tinggi dari \$85, karena pemerintah hanya memberikan insentif untuk selisih harga akhir antara biodiesel dan solar. Bahkan dengan biaya produksi tetap tersebut, rata-rata total biaya produksi biodiesel CPO pada tahun 2022 mencapai Rp12.495 per liter, lebih tinggi dari biaya biodiesel minyak jelantah dari sumber yang dikaji dalam penelitian ini (GenOil, 2022; Sutanto dkk., 2021; Ula & Kurniadi, 2017).

Sekali lagi, dalam produksi biodiesel, biaya bahan baku mendominasi persentase yang besar dari total biaya produksi. Berdasarkan perbandingan di atas, biaya produksi biodiesel minyak jelantah di Indonesia lebih murah jika dibandingkan dengan biaya biodiesel CPO. Namun demikian, mengingat opsi pengolahan awal dan akhir yang digunakan untuk menghasilkan biaya produksi biodiesel minyak jelantah berbeda dari proses di Eropa, biaya produksi akan berubah apabila para produsen di Indonesia mengadopsi proses yang biasanya digunakan di Eropa untuk memproduksi biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi. Penerapan proses tersebut mensyaratkan alokasi biaya investasi untuk peralatan yang diperlukan dalam proses pengolahan awal dan akhir. Dengan mempertahankan harga minyak jelantah yang rendah, produsen dapat mengimbangi pengeluaran modal atau investasi di muka yang lebih tinggi dan mengatasi biaya produksi yang lebih tinggi.

Indonesia memiliki sumber minyak jelantah yang melimpah untuk dikumpulkan dan diolah menjadi biodiesel. Indonesia memiliki peluang untuk memproduksi biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi dengan harga yang kompetitif. Di Eropa, minyak jelantah sangat diminati sehingga harga bahan baku menjadi tinggi. Artinya, biaya produksi biodiesel minyak jelantah di sana lebih mahal dibandingkan dengan produksi biodiesel berbahan baku minyak nabati. Saat ini, sebagian besar minyak jelantah yang terkumpul di Indonesia diekspor ke Eropa dan negara Asia lainnya. Indonesia dapat menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku untuk program biodiesel domestiknya, yang akan membantu meredakan perdebatan terkait isu pangan versus

bahan bakar dan menghindari krisis minyak goreng. Pertama, pemerintah Indonesia dapat mempertimbangkan untuk memasukkan minyak jelantah ke dalam program biodieselnnya. Dengan memasukkan minyak jelantah dalam daftar bahan baku alternatif dalam program biodiesel, kualitas biodiesel minyak jelantah akan diatur agar memenuhi standar nasional, biodiesel minyak jelantah akan mendapatkan insentif, dan investor serta produsen biodiesel dapat berinvestasi secara lebih percaya diri dalam produksi biodiesel minyak jelantah.

## Kesimpulan

Program biodiesel di Indonesia yang dikembangkan saat ini menggunakan bahan baku tunggal, yaitu CPO, meskipun tersedia minyak jelantah dalam jumlah melimpah dengan harga yang rendah. Studi terakhir yang kami lakukan menunjukkan bahwa Indonesia dapat mengumpulkan sampai dengan 715 kiloton minyak jelantah yang dapat digunakan untuk memproduksi 651 kiloton biodiesel (Kristiana & Baldino, 2021). Akan tetapi, sebagian besar minyak jelantah diekspor ke negara-negara di Eropa dan Asia daripada digunakan di dalam negeri. Minyak jelantah dapat menjadi bahan baku alternatif dalam program biodiesel Indonesia.

Baik minyak jelantah maupun CPO membutuhkan pengolahan awal sebelum transesterifikasi. Dengan metode pengolahan awal dan akhir yang tepat, biodiesel minyak jelantah dapat diproduksi dengan kualitas yang sama tingginya dengan biodiesel dari minyak nabati. Beberapa metode pengolahan awal dan akhir menggunakan teknologi yang serupa dengan yang digunakan untuk memproduksi biodiesel minyak nabati. Upaya sebelumnya untuk menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel gagal karena proses pengolahan awal dan akhir yang tidak memadai. Namun demikian, mengingat banyaknya opsi pengolahan awal dan akhir yang tersedia, produsen biodiesel minyak jelantah dapat menghindari kegagalan di masa lalu agar mencapai keberhasilan dalam mengembangkan industri mereka.

Di Eropa, para produsen biasanya menggabungkan proses esterifikasi dan transesterifikasi dan mengakhirinya dengan distilasi. Produsen Indonesia dapat mempertimbangkan untuk mengadopsi pendekatan tersebut dalam proses produksi biodiesel minyak jelantah berkualitas tinggi agar memenuhi standar nasional dalam negeri. Sementara itu di Indonesia, perusahaan seperti GenOil dan Bali Hijau telah menerapkan metode lain dalam pengolahan awal dan pemurnian untuk memproduksi biodiesel dari minyak jelantah.

Berdasarkan literatur, biaya produksi biodiesel minyak jelantah di Indonesia saat ini lebih murah daripada biaya produksi biodiesel CPO. Bahkan dengan peralatan pengolahan awal dan akhir yang lebih mahal, bergantung pada biaya minyak jelantah, produsen di Indonesia masih dapat memproduksi biodiesel minyak jelantah dengan harga yang cukup bersaing.

Pemerintah Indonesia (khususnya Kementerian ESDM) seharusnya mempertimbangkan untuk memasukkan minyak jelantah dalam daftar bahan baku alternatif dalam program biodiesel saat ini. Biodiesel minyak jelantah kemudian dapat diatur agar memenuhi standar biodiesel nasional dan dapat memenuhi syarat untuk mendapatkan insentif biodiesel dari Kementerian Keuangan dibawah BPDPKS. Dengan menerbitkan peraturan atau kebijakan baru untuk memasukkan minyak jelantah ke dalam program biodiesel, kualitas biodiesel minyak jelantah dapat dipastikan sesuai aturan SNI dan peraturan ESDM dan insentif fiskal atau non-fiskal lebih lanjut dapat diberikan untuk mendukung pengembangan biodiesel minyak jelantah dan memastikan bahwa harga biodiesel minyak jelantah mampu bersaing dengan biodiesel CPO.

## Daftar Referensi

- Aeni, Q. (2020). Analisis timbulan minyak jelantah dari rumah makan di kawasan kuliner alun-alun Kecamatan Kendal. Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/31012>
- Banerjee, A., & Cakraborty, R. (2009). Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production – A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(9), 490–497. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.04.003>
- Berrios, M., Martin, M. A., Chica, A. F., & Martin, A. (2011). Purification of biodiesel from used cooking oils. *Applied Energy*, 88(11), 3625–3631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.060>
- Biofuels International. (2021, April 13). The conversion of used cooking oils into biodiesel. <https://biofuels-news.com/news/the-conversion-of-used-cooking-oils-into-biodiesel/>
- Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS). (2018, August 20). Pembentukan badan pengelola dana perkebunan kelapa sawit (BPDPKS) untuk mendukung sawit Indonesia yang berkelanjutan. [http://www.bpdpk.or.id/wp-content/uploads/2018/08/Sesi-1-1-Musdhalifah-Machmud-Bahan-lbu-Deputi-200818.rev2\\_.pdf](http://www.bpdpk.or.id/wp-content/uploads/2018/08/Sesi-1-1-Musdhalifah-Machmud-Bahan-lbu-Deputi-200818.rev2_.pdf)
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). Standar Nasional Indonesia: Biodiesel. Retrieved from [https://fluidteknologi.com/demo/wp-content/uploads/2019/11/sni\\_7182\\_2015.pdf](https://fluidteknologi.com/demo/wp-content/uploads/2019/11/sni_7182_2015.pdf)
- Cardenas, J., Orjuela, A., Sanchez, D. L., Narvaez, P. C., Katryniok, B., & Clark, J. (2021). Pre-treatment of used cooking oils for the production of green chemicals: A review. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125129>
- CNBC Indonesia. (2022, February 25). Benarkah program B30 biang kerok migor melejit?. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220225171616-4-318534/benarkah-program-b30-biang-kerok-migor-melejit>
- Demirbas, A. (2008). *Biodiesel: A realistic fuel alternative for diesel engines*. Springer.
- Dimian, A. C., & Kiss, A. A. (2019). Eco-efficient processes for biodiesel production from waste lipids. *Journal of Cleaner Production*, 239. <https://10.1016/j.jclepro.2019.118073>
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). (2019, December 18). Pahami istilah B20, B30, B100, BBN dalam bioenergi. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/18/2433/pahami.istilah.b20.b30.b100.bbn.dalam.bioenergi>
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). (2021, March 17). Peluang dan tantangan pemanfaatan biodiesel berbasis minyak jelantah. Retrieved from <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/03/09/2824/peluang.dan.tantangan.pemanfaatan.biodiesel.berbasis.minyak.jelantah>
- Dunn, R. O. (2008). Antioxidants for improving storage stability of biodiesel. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 2(4), 304–318. <https://doi.org/10.1002/bbb.83>
- Efendi, R., Faiz, H. A., & Furdaus, E. R. (2018). Pembuatan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode esterifikasi-transesterifikasi berdasarkan jumlah pemakaian minyak jelantah. 9<sup>th</sup> Industrial Research Workshop and National Seminar, 9. <https://doi.org/10.35313/irwns.v9i0.1129>
- Foo, W. H., Koay, S. S., Tang, D.Y., Chia, W.Y., Chew, K. W., & Show, P. L. (2022). Safety control of waste cooking oil: Transforming hazard into multifarious products with available pre-treatment processes. *Food Materials Research*, 2(1). <https://doi.org/10.48130/FMR-2022-0001>
- Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Surendhar, A., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. (2013). Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: A review. *Journal of Energy*, 2013, 926392. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/926392>
- Gürdil, G. A. K., Kabutey, A., Selvi, K. Ç., Hrabě, P., Herák, D., & Fraňková, A. (2020). Investigation on heating and freezing pretreatments on mechanical, chemical and spectral properties of bulk sunflower seeds and oil. *Processes*, 8, 411. <https://doi.org/10.3390/pr8040411>
- Ihsan, F. N., & Fajri, R. (2019). Pengaruh kadar free fatty acid (FFA) dalam bulk storage tank (BST) terhadap kualitas crude palm oil (CPO) hasil produksi pengolahan kelapa sawit PMKS PT. Sisirau Aceh Tamiang. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 1(1), 22–24. <https://www.ejurnalunsam.id/index.php/JQ/article/view/1685/1263>
- Jain, S., & Sharma, M. P. (2010). Stability of biodiesel and its blends: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 667–678. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.011>
- Jilan, R. (2021). *Analisis nilai tambah pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (crude palm oil) di PT.* [Undergraduate thesis, Universitas Sumatera Utara]. <https://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/32291/170304003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ju, J., Zheng, Z., Xu, Y., Cao, P., Li, J., Li, Q., & Liu, Y. (2019). Influence of total polar compounds on lipid metabolism, oxidative stress and cytotoxicity in HepG2 cells. *Lipids in Health and Disease*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0980-0>
- Kanakraj, S., & Dixit, S. (2016). A comprehensive review on degummed biodiesel. *Biofuels*, 7(5), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1168021>

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2023, February 1). Era baru BBN, Indonesia siap implementasikan B35. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/era-baru-bbn-indonesia-siap-implementasikan-b35>
- Kharina, A., Searle, S., Rachmadini, D., Kurniawan, A. A., & Prionggo, A. (2018). *The potential economic, health and greenhouse gas benefits of incorporating used cooking oil into Indonesia's biodiesel*. The International Council on Clean Transportation. [https://theicct.org/sites/default/files/publications/UCO\\_Biodiesel\\_Indonesia\\_20180919.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/UCO_Biodiesel_Indonesia_20180919.pdf)
- Kombe, G. G., Temu, A. K., Rajabu, H.M., Mrema, G. D., Kasedo, J., & Lee, K. T. (2013). Pre-treatment of high free fatty acids oils by chemical re-esterification for biodiesel production - A review. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 3, 242-247. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2013.34031>
- Kristiana, T., & Baldino, C. (2021). *Potential biofuel production pathways in Indonesia: Overview of processes, feedstocks, and types of fuel*. The International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Potential-biofuel-pathways-indonesia-EN-apr2021.pdf>
- Kristiana, T., Baldino, C., & Searle, S. (2022). *An estimate of current collection and potential collection of used cooking oil from major Asian exporting countries*. The International Council on Clean Transportation, [https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/UCO-from-Asia\\_wp\\_final.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/UCO-from-Asia_wp_final.pdf)
- Lee, K. T., Foglia, T. A., & Chang, K. S. (2002). Production of alkyl ester as biodiesel from fractionated lard and restaurant grease. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 191-195. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0457-y>
- Mamtani, K., Shahbaz, K., & Farid, M. M. (2021). Glycerolysis of free fatty acids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 137, 110501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110501>
- Neuman, T. (2014, March 6). Use of separators, decanters in biodiesel processing. *Biodiesel Magazine*. <https://biodieselmagazine.com/articles/17995/use-of-separators-decanters-in-biodiesel-processing>
- O'Connell, A. (2005). Recycled vegetable oil as a fuel. [Master's thesis, University of Limerick].
- Palanisamy, K., Idlan, M. K. & Saifudin, N. (2013). Preliminary evaluation of the effectiveness of moisture removal and energy usage in pretreatment module of waste cooking oil for biodiesel production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 16, 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/16/1/012053>
- Palm Oil Analytics. (2023). CPO- FOB Indonesia. <https://palmoilanalytics.com/>
- Phillips, D. (2019). *Implications of imported used cooking oil (UCO) as a biodiesel feedstock*. NNFCC. <https://www.nnfcc.co.uk/files/mydocs/UCO%20Report.pdf>
- Predojević, Z. J. (2008). The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. *Fuel*, 87(17-18), 3522-3528. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.003>
- Rincon, L. A., Ramirez, J. C., & Orjuela, A. (2021). Assessment of degumming and bleaching processes for used cooking oils upgrading into oleochemical feedstocks. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104610. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104610>
- San, D. (2017). *Biodiesel production from jatropha and waste cooking oils in Mozambique*. [Master's thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management]. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1152885/FULLTEXT01.pdf>
- Sarin, A., Singh, N. P., Sarin, R., & Malhotra, R. K. Natural and synthetic antioxidants: Influence on the oxidative stability of biodiesel synthesized from non-edible oil. *Energi*, 35, 4645-4648. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.044>
- Schneider, L. T., Bonassa, G., Alves, H. J., Meier, T. R. W., Frigo, E. P., & Teleken, J. G. (2017). Use of rice husk in waste cooking oil pretreatment. *Environmental Technology*, 40(5), 594-604. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1397772>
- Shahdan, S. N., & Hirzin, R. S. (2021). Pre-treatment of used cooking oil followed by transesterification reaction in the production of used cooking oil-based polyol. *Scientific Research Journal*, 18(2), 129-146. <https://doi.org/10.24191/srj.v18i2.13749>
- Skelton, R. L., Processing of used cooking oil for the production of biofuels. In K. Waldron (Ed.), *Handbook of Waste management and Co-Product Recovery in Food Processing* (pp. 441-454). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845697051.4.441>
- Susilowati, E., Hasan, A., & Syarif, A. (2019). Free fatty acid reduction in a waste cooking oil as a raw material for biodiesel with activated coal ash adsorbent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167, 012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012035>
- Sutanto, C. F., Wiryawan, F. P., & Kurniawansyah, F. (2021). Pra rancangan pabrik biodiesel dari minyak jelantah menggunakan metode transesterifikasi dengan kapasitas 50.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.70673>
- Tafesh, A., & Basheer, S., Pretreatment methods in biodiesel production processes. In Z. Fang (Ed.), *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries* (pp. 417-434). Springer.
- Talebian-Kiakalaieh, A., Amin, N. A. S., & Mazaheri, H. (2013). A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Energy*, 104, 683-710. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.061>

- Tang, H., De Guzman, R. C., Salley, S. O., & Ng, S. K. Y. (2008). The oxidative stability of biodiesel: Effects of FAME composition and antioxidant. *Lipid Technology*, 20(11), 249–252. <https://doi.org/10.1002/lite.200800065>
- Tim Nasional Percepatan Penanggulangan Kemiskinan (TNP2K) & Traction Energy Asia. (2020). *Pemanfaatan minyak jelantah untuk produksi biodiesel dan pengentasan kemiskinan di Indonesia*. <https://tractionenergy.asia/wp-content/uploads/2021/03/Paparan-Pemanfaatan-Minyak-Jelantah-Untuk-Produksi-Biodiesel-dan-Pengentasan-Kemiskinan-di-Indonesia.pdf>
- Torres, S., Acien, G., García-Cuadra, F., & Navia, R. (2017). Direct transesterification of microalgae biomass and biodiesel refining with vacuum distillation. *Algal Research*, 28, 30–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.10.001>
- Ula, S., & Kurniadi, W. (2017). Studi kelayakan produksi biodiesel dari minyak jelantah skala industry kecil. *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*, 2(2), 1–7. <https://www.journal.umtas.ac.id/index.php/aljazari/article/view/144/92>
- Voegelé, E. (2012, January 18). A critical component. *Biodiesel Magazine*. <https://biodieselmagazine.com/articles/8295/a-critical-component>
- Wang, Y., Nie, J., Zhao, M. Ma, S., Kuang, L., Han, X., & Tang, S. (2010). Production of biodiesel from waste cooking oil via a two-step catalyzed process and molecular distillation. *Energy Fuels*, 24(3), 2104–2108. <https://doi.org/10.1021/ef901347b>
- Waseso, R. (2022, September 11). Harga solar naik, BPDPKS tak bayar insentif program biodiesel hingga September 2022. *Kontan*. <https://nasional.kontan.co.id/news/harga-solar-naik-bpdpks-tak-bayar-insentif-program-biodiesel-hingga-september-2022>
- Wicaksono, A., Widayat, & Saptadi, S. (2019). Waste cooking oil into biodiesel transformation and its economical potency through circular economic model in Semarang Barat Area Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125, 14010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912514010>
- Xie, Q., Cai, L., Xia, F., Liang, X., Wu, Z., Liu, X., Lu, M., Nie, Y., & Ji, J. (2019). High vacuum distillation for low-sulfur biodiesel production: From laboratory to large scale. *Journal of Cleaner Production*, 223, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.160>
- Yuarini, D. A., Putra, G. P., Wrasiasi, L. P., & Wiranatha, A. A. (2018). Karakteristik minyak goreng bekas yang dihasilkan di Kota Denpasar. *Media Ilmiah Teknologi Pangan*, 5(1), 49–55. <http://erepo.unud.ac.id/id/eprint/22169/1/3ef55cc44066b557b1ec0466ddaf644f.pdf>
- Yuniva, N. (2010). *Analisa mutu crude palm oil (CPO) dengan parameter kadar asam lemak bebas (ALB), kadar air dan kadar zat pengotor di pabrik kelapa sawit PT. Perkebunan Nusantara-V Tandun Kabupaten Kampar*. [Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru]. [https://repository.uin-suska.ac.id/10499/1/2010\\_2010390PK.pdf](https://repository.uin-suska.ac.id/10499/1/2010_2010390PK.pdf)