



TRACTION
ENERGY ASIA

Pemodelan Dampak Penggunaan
CPO Di Indonesia:

**Antara Kebutuhan
Pangan dan Bahan
Bakar**

2024

Tim Penyusun

Prof. Firmansyah, S.E., M.Si., Ph.D

Dr. Shanty Oktavilia, S.E., M.Si

Anisa Dwi Ariyani, S.E

Ryan Prayogi, S.E

Siti Hilmiati Azyzia

Daftar Isi

<i>Ringkasan Eksekutif</i>	04
<i>Latar Belakang</i>	05
<i>Tujuan Penelitian</i>	09
<i>Studi Literatur: Bahan Pangan vs Bahan Bakar Hayati</i>	10
<i>Metode Penelitian</i>	13
Model Produksi CPO	14
Model Permintaan CPO untuk Biodiesel	14
Model Permintaan CPO untuk Pangan	14
Model Permintaan CPO untuk Oleokimia	15
Model Permintaan CPO untuk Ekspor	15
Skenario Simulasi	15
<i>Hasil dan Pembahasan</i>	16
<i>Kesimpulan dan Rekomendasi</i>	24
<i>Daftar Pustaka</i>	26
<i>Lampiran</i>	29

Ringkasan Eksekutif

Laporan ini membahas konflik antara kebutuhan pangan dan bahan bakar terkait penggunaan minyak kelapa sawit (CPO) di Indonesia. Sebagai produsen CPO terbesar di dunia, penggunaan minyak sawit untuk produksi biodiesel telah memicu perdebatan tentang dampaknya pada ketahanan pangan. Meskipun bioenergi menawarkan alternatif energi terbarukan, dampaknya pada pasokan pangan harus dipertimbangkan dengan cermat.

Poin Utama:

1. Produksi dan Permintaan CPO:

Produksi CPO di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, terutama karena peran pentingnya dalam berbagai industri. Namun, peningkatan permintaan untuk biodiesel, sebagai bagian dari kebijakan pemerintah yang mempromosikan energi terbarukan, telah menambah tekanan pada ketersediaan CPO untuk pangan. Ketersediaan CPO untuk pangan menjadi lebih terbatas, yang berdampak pada harga minyak goreng dan produk makanan lainnya.

2. Kebijakan Biodiesel:

Program mandatori biodiesel yang diterapkan pemerintah telah meningkatkan penggunaan CPO sebagai bahan baku biodiesel. Kebijakan ini mempromosikan penggunaan biodiesel yang dicampur dengan bahan bakar fosil, seperti B30 dan B35, yang menggunakan hingga 35% CPO dalam campurannya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi impor bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi. Namun, dampaknya terhadap pasokan CPO untuk pangan terlihat signifikan, mengingat jumlah minyak kelapa sawit yang digunakan dalam produksi biodiesel terus meningkat.

3. Implikasi Ketahanan Pangan:

Dengan meningkatnya permintaan CPO untuk biodiesel, pasokan untuk pangan menjadi terbatas, menyebabkan kenaikan harga minyak goreng dan produk makanan lainnya. Hal ini memicu kekhawatiran tentang ketersediaan dan aksesibilitas minyak kelapa sawit untuk kebutuhan pangan, terutama di kalangan masyarakat berpenghasilan rendah yang sangat bergantung pada minyak kelapa sawit sebagai sumber utama lemak dan minyak. Dampaknya juga terlihat pada harga pangan di pasar domestik dan global.

4. Konflik Pangan vs. Bahan Bakar:

Dengan meningkatnya permintaan CPO untuk biodiesel, pasokan untuk pangan menjadi terbatas, menyebabkan kenaikan harga minyak goreng dan produk makanan lainnya. Hal ini memicu kekhawatiran tentang ketersediaan dan aksesibilitas minyak kelapa sawit untuk kebutuhan pangan, terutama di kalangan masyarakat berpenghasilan rendah yang sangat bergantung pada minyak kelapa sawit sebagai sumber utama lemak dan minyak. Dampaknya juga terlihat pada harga pangan di pasar domestik dan global.

Rekomendasi:

1. Diversifikasi Bahan Baku Biodiesel: Mengembangkan bahan baku biodiesel alternatif selain CPO untuk mengurangi tekanan pada pasokan pangan.
2. Standar Keberlanjutan: Mengadopsi praktik pertanian yang berkelanjutan dalam produksi minyak sawit untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
3. Inovasi Teknologi: Investasi dalam teknologi bioenergi baru untuk meningkatkan efisiensi produksi biodiesel tanpa mengorbankan pasokan pangan.
4. Pendekatan Holistik: Mendorong pendekatan holistik dalam kebijakan bioenergi yang mempertimbangkan dampaknya terhadap pangan dan lingkungan.

Dengan menerapkan kebijakan dan praktik yang berimbang, Indonesia dapat memastikan ketersediaan pangan yang memadai dan pada saat yang sama memenuhi kebutuhan energi berkelanjutan di masa depan.

Latar Belakang

Biofuel merupakan jenis bioenergi yang dihasilkan dari bahan organik atau biomassa, seperti tanaman pangan, limbah pertanian, atau tanaman non-pangan, dan dapat digunakan sebagai alternatif atau pelengkap bagi bahan bakar fosil. Dua jenis utama biofuel adalah bioethanol, yang diproduksi melalui fermentasi gula atau pati dari tanaman seperti jagung atau tebu, dan biodiesel, yang dihasilkan dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit atau kedelai. Biofuel berpotensi memainkan peran dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

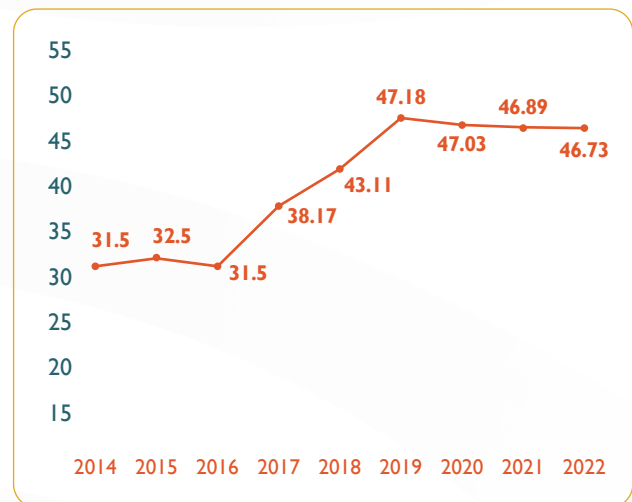
Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit (CPO) terbesar di dunia, telah memainkan peran penting dalam industri ini. Data dari Departemen Pertanian Amerika Serikat (*United States Department of Agriculture/USDA*) memproyeksikan produksi CPO Indonesia mencapai 45,5 juta ton pada periode 2022/2023, menjadikannya yang terbesar di dunia (Gambar 1). Sementara itu, Gambar 1 memperlihatkan tren produksi CPO Indonesia tahun 2014-2022. Meskipun mengalami penurunan pada 2019-2022 karena berbagai masalah internal seperti target *replanting* dan cuaca, produksi CPO terus menunjukkan peningkatan, mencapai 46,73 juta ton pada 2022 (turun 0,34% dari tahun 2021).

Gambar 1. Proyeksi Produksi CPO Periode 2022/2023 (Juta Ton)



Sumber. USDA

Gambar 2. Produksi CPO Indonesia (Juta Ton)



Sumber. GAPKI

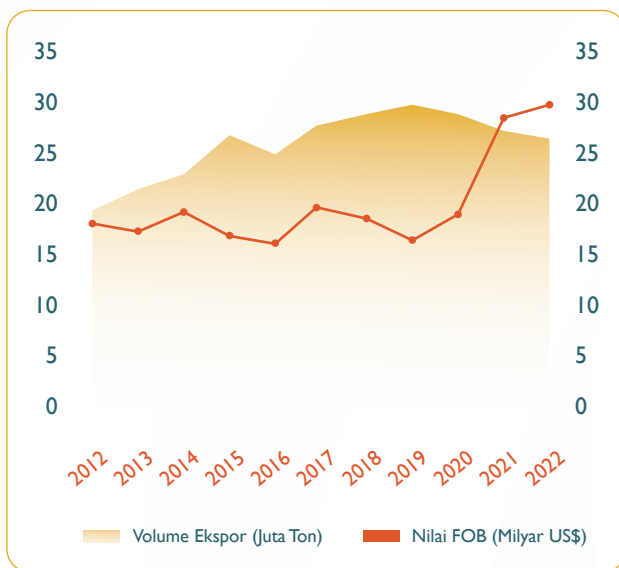
Sebagian besar hasil produksi CPO Indonesia diekspor ke berbagai negara di dunia, yaitu sebesar 56,11% pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). Hal ini menyebabkan nilai penjualan dan harga CPO akan sangat rentan berubah jika terjadi perubahan kondisi ekonomi global atau perubahan kebijakan internasional, terutama negara-negara yang menjadi tujuan utama ekspor. Pada tahun 2019, Uni Eropa menghentikan penggunaan sawit untuk biodiesel sebagaimana yang telah tercantum dalam dokumen *Delegated Regulation Supplementing Directive of The EU Renewable Energy Directive II (RED II)* sebagai upaya negara-negara Uni Eropa dalam menghadapi krisis iklim dan energi. Kebijakan ini berdampak pada penurunan permintaan CPO global dan menyebabkan harga CPO global mengalami penurunan. Hal ini berdampak pada nilai ekspor CPO Indonesia pada tahun 2019, yaitu mengalami penurunan dari US\$17,9 milyar menjadi US\$15,54 milyar (turun sebesar 13,18%) (Gambar 3).

Pemerintah Indonesia merespons tantangan tersebut dengan menggalakkan industrialisasi CPO menjadi produk olahan domestik (Alen et al., 2021). Tiga jalur utama dalam hilirisasi CPO yang menjadi fokus adalah

Industri Kompleks Oleofood, Industri Kompleks Oleokimia, dan Industri *Biofuel*. Program mandatori biodiesel telah diterapkan sejak 2008, namun pada tahun 2019, percepatan dilakukan dengan menerapkan B30, yang seharusnya direalisasikan pada tahun 2020 sebagai tanggapan terhadap kebijakan Uni Eropa (Febriatama, 2020).

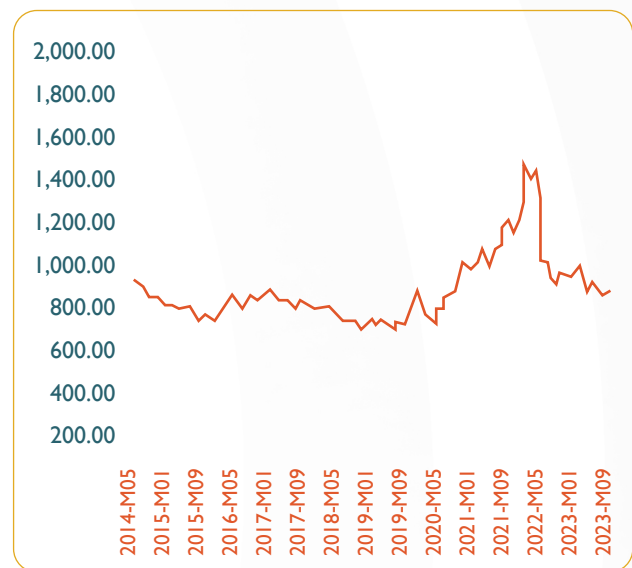
Selama periode 2012-2022, nilai ekspor CPO Indonesia menunjukkan tren peningkatan, meskipun terjadi penurunan volume ekspor pada periode 2019-2022, akan tetapi terjadi peningkatan harga di periode 2021-2022. Hal ini menandakan adanya peningkatan harga global yang terutama dipicu oleh upaya hilirisasi CPO di Indonesia (Emeria, 2022). Pada tahun 2022, volume ekspor CPO Indonesia mencapai 26,22 juta ton dengan nilai FOB mencapai US\$ 15,97 miliar.

Gambar 3. Ekspor CPO Indonesia



Sumber: BPS

Gambar 4. Harga CPO Global



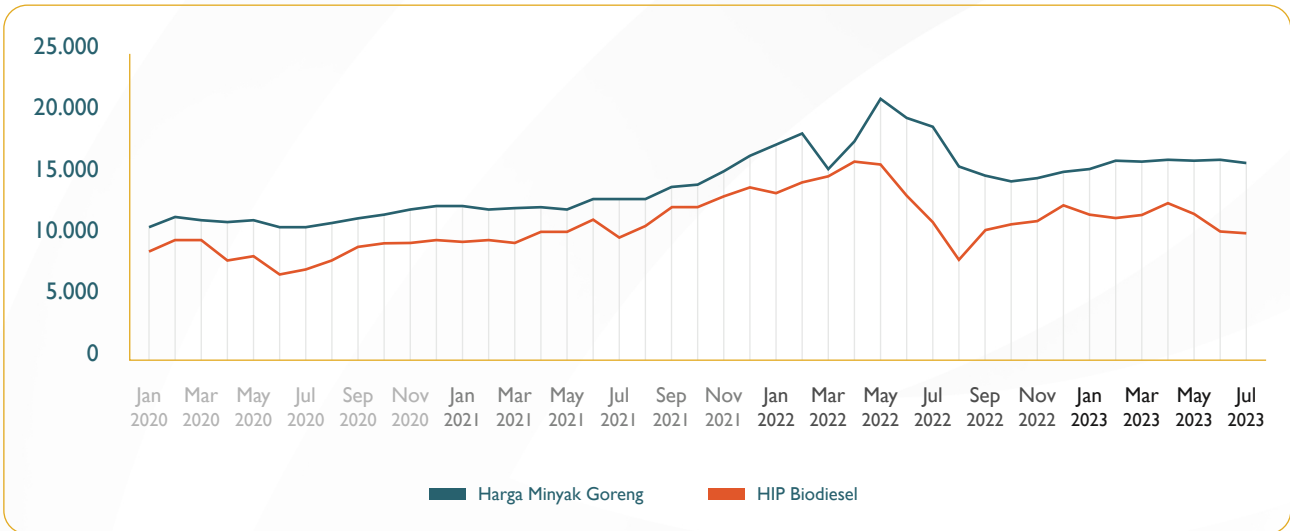
Sumber: Bappebti (2024)

Program mandatori biodiesel bukan hanya bertujuan untuk melindungi komoditas CPO Indonesia dan meningkatkan nilai tambahnya, tetapi juga untuk mengurangi ketergantungan impor bahan bakar, meningkatkan ketahanan energi, serta memenuhi komitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (KESDM, 2019). Sejak tahun 2023, pemerintah telah menerapkan B35 dalam program ini, dengan harapan proporsi minyak nabati dalam bahan bakar terus meningkat. Namun, pergeseran penggunaan CPO ini menimbulkan beberapa kekhawatiran terutama terkait ketahanan pangan.

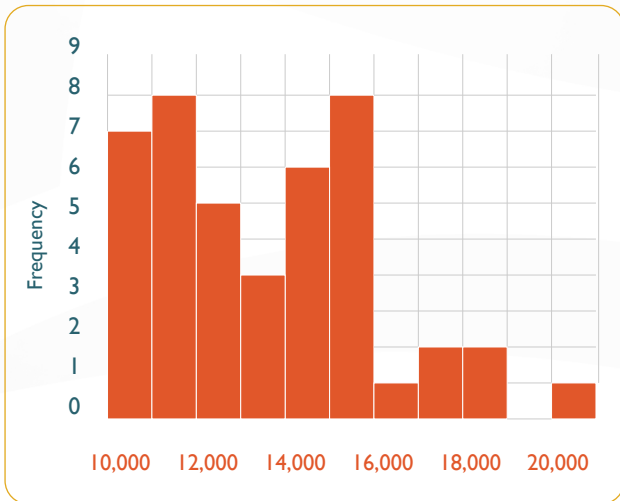
CPO memiliki peran penting dalam industri makanan sebagai bahan baku utama minyak goreng dan berbagai produk makanan lainnya. Minyak goreng dari kelapa sawit CPO menjadi sumber vital dalam memenuhi kebutuhan pangan, terutama di berbagai negara di Asia Tenggara. Hal ini mencerminkan peran yang beragam dan implikasi dalam sejumlah industri termasuk industri pangan dan energi.

Strategi kebijakan hilirisasi untuk menjaga harga CPO dapat menimbulkan tekanan pada produk hilirisasi tersebut. Misalnya, program mandatori biodiesel dapat menekan ketersediaan CPO untuk pangan dan juga berpengaruh pada produk hilirisasi lainnya, seperti oleokimia. Bahkan, kebijakan hilirisasi ini dapat berdampak pada ekspor CPO. Penurunan ketersediaan CPO untuk konsumsi pangan, seperti minyak goreng, dapat memiliki dampak serius terutama pada kenaikan harga dan keterbatasan akses bagi masyarakat.

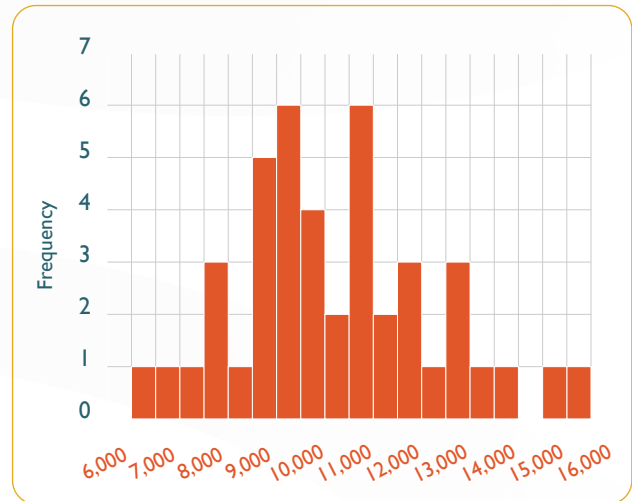
Gambar 5. Harga Minyak Goreng dan Harga Indeks Pasar (HIP) Biodiesel Nasional



HMG



HIPB



Keterangan. HMG adalah harga minyak goreng, HIPB adalah harga indeks pasar biodiesel / Sumber. PIHPS dan Dirjen EBTKE, diolah

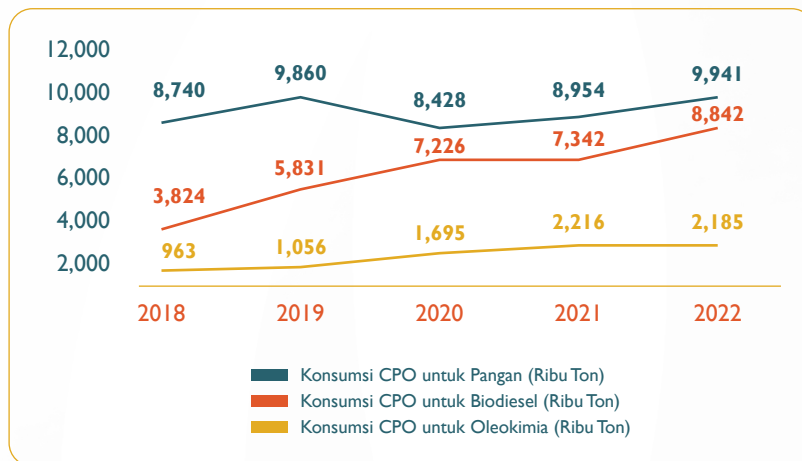
Trend harga minyak goreng menunjukkan bahwa biodiesel dianggap sebagai ancaman terhadap ketahanan pangan melalui tekanan permintaan yang mempengaruhi harga seiring dengan harga indeks pasar biodiesel nasional (Gambar 5). Penggunaan CPO sebagai bahan baku utama untuk produksi biodiesel menimbulkan kekhawatiran tentang dampaknya terhadap sektor pangan. Sebagai salah satu minyak nabati terbanyak yang diproduksi dan dikonsumsi di dunia, CPO memiliki peran penting dalam industri pangan yang digunakan dalam berbagai produk dari margarin hingga makanan olahan lainnya.

Dalam periode 2018-2022, produksi CPO untuk konsumsi biodiesel mengalami peningkatan relatif (Gambar 6 dan 7). Namun, konsumsi biodiesel terus meningkat tanpa mengurangi penggunaan CPO untuk konsumsi pangan karena permintaan yang tinggi dalam sektor pangan. Hal ini berarti permintaan CPO akan terus meningkat untuk memenuhi kebutuhan pangan dan energi nasional. Namun, peningkatan permintaan CPO juga dapat menimbulkan masalah baru terkait faktor produksi CPO terutama lahan. Permintaan CPO yang meningkat dapat mengakibatkan peningkatan permintaan terhadap faktor produksi CPO, seperti lahan perkebunan kelapa sawit. Pertumbuhan lahan perkebunan sawit diasumsikan sebesar 1% - 1,74% yang dapat diartikan terjadi melalui deforestasi atau alih fungsi lahan dari hutan ke perkebunan. Hal ini dapat terjadi

mengingat alih fungsi lahan, misalnya dari perkebunan karet ke perkebunan sawit biasanya terjadi pada perkebunan miliki pekebun sawit mandiri (*smallholders*) dan berskala kecil. Penambahan lahan sawit sebesar 1% - 1,74% per tahunnya atau 153.800 - 267.000 hektar per tahun umumnya terjadi di lahan konsesi perkebunan. Proses deforestasi umumnya melibatkan modal dan alat berat, sehingga mustahil pekebun sawit mandiri melakukan alih fungsi lahan atau deforestasi secara masif.

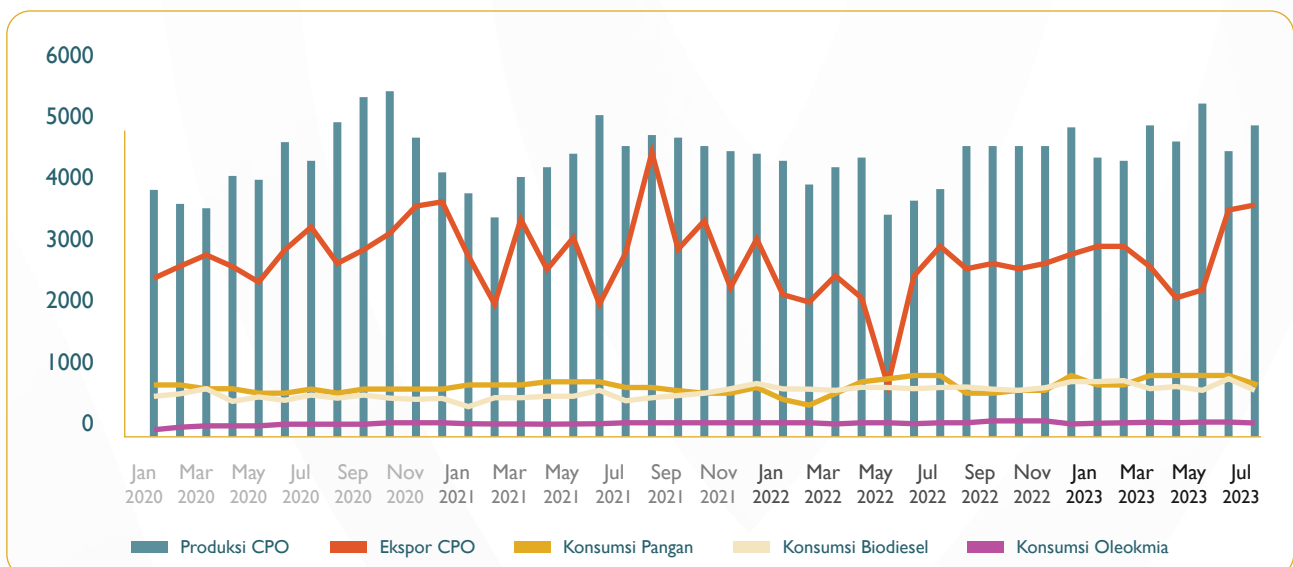
Dampak yang diakibatkan adalah deforestasi meningkat dan berpotensi berdampak negatif pada lingkungan, keanekaragaman hayati dan upaya mengurangi emisi gas rumah kaca. Deforestasi yang terjadi pada saat pembukaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit berkontribusi pada kehilangan habitat bagi spesies terancam punah dan pelepasan emisi karbon yang signifikan. Selain itu, praktik pertanian yang tidak berkelanjutan dapat menyebabkan degradasi tanah, pencemaran air, dan masalah sosial-ekonomi bagi komunitas setempat. Oleh karena itu, meskipun CPO memiliki potensi sebagai sumber bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, terdapat kekhawatiran yang signifikan terkait dampaknya terhadap sumber pangan dan lingkungan. Hal ini menuntut pendekatan yang lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab dalam pengembangan industri kelapa sawit termasuk penerapan standar keberlanjutan dan inovasi dalam teknik pertanian dan pengelolaan lahan.

Gambar 6. Konsumsi CPO untuk Pangan, Konsumsi CPO untuk Biodiesel, Konsumsi CPO untuk Oleokimia di Indonesia



Sumber. Databook (2023)

Gambar 7. Perkembangan Produksi dan Konsumsi Crude Palm Oil (CPO) Indonesia



Sumber. GAPKI (2020, 2021, 2022, 2023)

Peningkatan produksi biodiesel yang menggunakan CPO dapat mengurangi pasokan CPO untuk pasar pangan dan menyebabkan kenaikan harga CPO secara global. Hal ini dapat berdampak pada harga produk pangan yang menggunakan CPO sebagai komponen utama, yang pada akhirnya akan meningkatkan harga konsumsi pangan secara umum. Kenaikan harga pangan khususnya di negara-negara berkembang dapat memperburuk aksesibilitas pangan bagi kelompok masyarakat berpenghasilan rendah, yang pada gilirannya dapat meningkatkan masalah kekurangan gizi dan ketahanan pangan.

Situasi ini menunjukkan perlunya keseimbangan antara pengembangan energi terbarukan untuk mengatasi perubahan iklim dan perlindungan ketahanan pangan global. Salah satu solusi yang diajukan adalah mencari alternatif bahan baku untuk produksi biodiesel yang tidak bersaing langsung dengan sektor pangan, seperti penggunaan limbah pertanian atau tanaman non-pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tekanan pada permintaan CPO untuk kebutuhan pangan dengan mempertimbangkan berbagai skenario termasuk produksi CPO, permintaan untuk biodiesel, oleokimia, dan ekspor CPO Indonesia. Meskipun fokus penelitian adalah pada aspek ekonomi dan tidak mempertimbangkan aspek lingkungan secara langsung, hasilnya masih dapat memberikan gambaran tentang dampak lingkungan, seperti ekspansi lahan perkebunan kelapa sawit yang dapat menyebabkan deforestasi. Selain itu, penelitian ini juga tidak secara khusus membahas aspek lingkungan dari permintaan domestik dan internasional terhadap CPO Indonesia.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu tujuan umum dan tujuan khusus. Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak produksi biodiesel dari CPO terhadap produksi bahan pangan yang menggunakan CPO yang sama.

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk menganalisis produksi atau penawaran CPO, menganalisis permintaan CPO untuk bahan pangan, biodiesel, dan ekspor; mensimulasikan permintaan dan penawaran CPO; memperkirakan tekanan produksi biodiesel terhadap pangan.

Untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan pembangunan model proyeksi produksi atau penawaran serta permintaan CPO baik secara domestik maupun ekspor. Model tersebut kemudian disimulasikan menggunakan beberapa skenario terkait besaran lahan perkebunan sawit (pertumbuhan luas lahan) dan kebijakan bauran biodiesel dalam solar yang dijual di pasar domestik. Hasil dari proyeksi produksi atau penawaran dan permintaan CPO untuk berbagai kebutuhan domestik dan ekspor ini akan digunakan untuk memperkirakan dampak kebijakan bauran biodiesel terhadap ketersediaan CPO untuk kebutuhan pangan.

Studi Literatur: Bahan Pangan vs Bahan Bakar Hayati

Ketahanan pangan menjadi topik yang krusial di tengah krisis iklim. Produksi bioenergi dari bahan baku pangan dapat memiliki implikasi signifikan terhadap ketersediaan pangan, harga pangan, dan produksi pangan. Pilihan bahan baku, baik yang dapat dimakan atau tidak dapat dimakan, memainkan peran krusial dalam menentukan dampak terhadap parameter ketahanan pangan. Pemanfaatan bahan baku yang dapat dimakan, seperti minyak yang dapat dimakan, untuk produksi bioenergi dapat menyebabkan biaya produksi yang tinggi dan berdampak negatif terhadap ketahanan pangan (Nikhom et al., 2019). Di sisi lain, penggunaan bahan baku yang tidak dapat dimakan, seperti tanaman biji minyak yang tidak dapat dimakan, algae dan limbah pertanian, untuk produksi bahan bakar bio dilihat sebagai opsi yang layak untuk mengurangi kekhawatiran terkait dengan ketahanan pangan (Kichonge & Kivevele, 2023).

Ekspansi sektor bioenergi memegang peranan penting dalam upaya transisi energi global dan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Alsaffat, et al., 2020). Namun, studi yang dilakukan oleh Yadeta et al. (2021) menyoroiti bahwa dampak dari pengembangan sektor ini terhadap ketahanan pangan merupakan sebuah isu kompleks yang melibatkan pertimbangan yang beragam. Dari sisi positif, pengembangan bioenergi dapat mendorong inovasi teknologi, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan pendapatan bagi petani melalui diversifikasi sumber pendapatan, khususnya di wilayah pedesaan. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku bioenergi juga dapat menambah nilai ekonomi dari produk pertanian yang sebelumnya tidak termanfaatkan secara optimal, sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, pembangunan bioenergi juga memunculkan kekhawatiran terkait dengan potensi kompetisi penggunaan lahan antara produksi pangan dan bahan baku bioenergi. Hal ini dapat meningkatkan harga tanah dan input pertanian yang pada akhirnya dapat memberikan tekanan pada harga pangan lokal dan mengurangi aksesibilitas pangan bagi komunitas miskin. Selain itu, alih fungsi lahan pertanian ke lahan produksi bioenergi dapat mengurangi luas lahan yang tersedia untuk produksi pangan yang berpotensi mengancam ketahanan pangan di tingkat lokal maupun global.

Sejak produksi *biofuel* menjadi cita-cita bersama untuk mewujudkan *green energy*, para ekonom dan pakar lingkungan terpecah menjadi dua faksi. Kelompok pertama percaya bahwa produksi *biofuel* adalah solusi ideal terhadap masalah perubahan iklim dan permulaan transisi secara bertahap menuju sumber energi ramah lingkungan. Hal ini tidak hanya dengan mengurangi laju emisi karbon dari pembakaran bahan bakar fosil, namun juga dengan menyerap unit karbon melalui proses fotosintesis, di mana pembangkit listrik menyerap karbon dioksida kedua. Penyediaan energi dari sumber terbarukan juga dapat berkontribusi mengurangi ketergantungan pada impor energi tradisional sekaligus dapat digunakan sebagai sumber penciptaan devisa negara.

Produksi *biofuel* pada akhirnya dapat digunakan untuk mengembangkan sektor pertanian dan memberikan lebih banyak kesempatan kerja (Alsaffat, et al., 2020). Kelompok kedua percaya bahwa produksi biofuel dapat berpotensi mengabaikan ketahanan pangan. Kelompok ilmuwan ini membandingkan ketahanan pangan di satu sisi dan ketahanan energi di sisi lain. Implikasi dari hal ini adalah bahwa intensitas produksi *biofuel* dengan menggunakan sumber bahan tanaman pangan akan berdampak negatif terhadap surplus tanaman pangan yang dialokasikan kepada masyarakat termiskin dan miskin atau kelas paling rentan yang membutuhkan (Robert & Florentine, 2021). Pemikiran lain juga menyatakan bahwa profitabilitas dapat mendorong produsen pertanian

untuk memproduksi tanaman *biofuel* dengan mengorbankan tanaman pangan, yang akan berdampak negatif pada peningkatan jumlah penduduk miskin di satu sisi dan proporsi kelaparan di dunia di sisi lain. Namun, yang terbukti adalah produksi *biofuel* terus berkembang dan produksinya diperkirakan akan meningkat berkali lipat, dan hal ini mendorong penerapan produksi *biofuel* generasi baru yang dapat menyelaraskan persyaratan ketahanan pangan dan ketahanan energi (Parthiban, et al., 2021). Kebijakan untuk mendorong produksi dan penggunaan *biofuel* (biodiesel dan bioetanol) telah diterapkan sejak awal tahun 2000-an, baik di negara maju maupun berkembang. Penerapan *biofuel* sebagai sumber energi terbarukan menawarkan peluang mitigasi perubahan iklim dan keamanan energi yang lebih besar bagi banyak negara (Gunatilake, et al., 2011a).

Dualisme pendapat ini juga didukung oleh beberapa kajian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti di berbagai negara. Diaz Chavez, et al. (2010) menyatakan bahwa produksi bioenergi di Afrika dapat berkontribusi pada peningkatan produksi pertanian yang mengakibatkan peningkatan pasokan tanaman pangan pokok dalam negeri tergantung pada porsi tanaman tersebut yang digunakan untuk pakan, serat, bahan bakar, dan/atau ekspor.

Minot (2010), Robles (2011) FAO, berpendapat bahwa produksi bioenergi dapat menyebabkan berkurangnya pasokan tanaman pangan pokok dalam negeri karena berkurangnya ketersediaan tanaman tersebut dan/atau peningkatan porsi tanaman tersebut yang digunakan untuk pakan, serat, dan/atau bahan bakar, kecuali kesenjangan antara pasokan dan permintaan dalam negeri dapat dipenuhi melalui impor. Selain itu, produksi bahan baku bioenergi dapat mengubah permintaan terhadap input, seperti tanah, air, dan pupuk yang digunakan dalam produksi tanaman pokok, yang dapat mempengaruhi harga *input-input* tersebut.

Khan, et al. (2021) menyatakan bahwa *biofuel* merupakan sumber energi terbarukan yang potensial di industri transportasi dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Gunatilake et al. (2011b) menunjukkan bahwa kebijakan penggunaan biodiesel di India dapat meningkatkan ketahanan energi, menciptakan lapangan kerja yang signifikan, dan mencapai pertumbuhan inklusif tanpa menimbulkan dampak buruk pada sektor perekonomian lainnya.

Altenburg et al. (2009) dan Gasparatos et al. (2013) membahas potensi biodiesel dalam menciptakan sumber pendapatan tambahan bagi penduduk pedesaan, sambil menyoroti dampaknya terhadap harga pangan dan lingkungan. Salleh et al. (2020) mengemukakan bahwa penetapan kebijakan bioenergi nasional yang komprehensif dan inklusif akan mengarah pada pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan di Malaysia.

Yadeta et al. (2021) menekankan pentingnya pendekatan holistik dalam pengembangan sektor bioenergi termasuk memastikan pengembangan bioenergi dilakukan dengan cara yang berkelanjutan, meminimalkan konflik penggunaan lahan, dan mendukung tujuan ketahanan pangan. Hasegawa et al. (2020) membahas pertumbuhan minat terhadap tanaman bioenergi sebagai sumber energi alternatif dan dampaknya terhadap produksi pangan global dan ketahanan pangan.

Wang et al. (2019) menyoroti pentingnya *biofuel* generasi kedua dalam mengatasi masalah lingkungan dan ketahanan pangan, serta membuka peluang ekonomi baru di daerah pedesaan. Moyib & Omotola (2018) membahas penggunaan bahan baku non-pangan dalam produksi bioenergi sebagai langkah menuju energi yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Sahara (2022) melakukan kajian dampak ekonomi sektor biodiesel di Indonesia menyoroti implikasi kebijakan terhadap kondisi makroekonomi nasional, sektor lain, dan pendapatan rumah tangga.

Kesimpulannya adalah pilihan bahan baku untuk produksi bioenergi memainkan peran krusial dalam menentukan dampaknya terhadap ketahanan pangan. Pemanfaatan bahan baku yang tidak dapat dimakan dan biofuel generasi kedua dapat menjadi alternatif berkelanjutan yang tidak bersaing dengan produksi pangan, sehingga berkontribusi pada tujuan keamanan energi dan ketahanan pangan.

Bahan bakar hayati (*biofuel*) menjadi fokus sebagai solusi berkelanjutan terhadap permasalahan lingkungan dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Meskipun menjanjikan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, pengembangan biofuel menghadapi tantangan serius khususnya dalam konteks dilema "pangan versus bahan bakar". Dilema ini muncul karena sebagian besar *biofuel* generasi pertama diproduksi dari tanaman pangan, seperti jagung, tebu, dan kedelai, yang berpotensi bersaing dengan produksi pangan (Debnath et al., 2019).

Salah satu pilihan menarik dalam produksi biodiesel adalah minyak kelapa sawit (CPO) yang memiliki ketersediaan tinggi dan potensi pengurangan emisi gas rumah kaca. Namun, ekspansi perkebunan kelapa sawit memicu kekhawatiran terkait tekanan pada sumber pangan dan lingkungan. Ekspansi ini sering mengorbankan lahan yang sebelumnya digunakan untuk pertanian pangan yang dapat mempengaruhi keamanan pangan baik secara lokal maupun global (Kichonge & Kivevele, 2023).

Peningkatan permintaan akan tanaman ini sebagai bahan bakar dapat memicu kenaikan harga pangan dan mengurangi ketersediaannya untuk konsumsi manusia terutama di negara-negara dengan pasokan pangan yang terbatas. Kritik ini mendorong pengembangan *biofuel* generasi kedua yang menggunakan biomassa non-pangan, seperti jerami, kulit jagung, serbuk gergaji, dan tanaman khusus yang tidak dimaksudkan untuk konsumsi manusia, seperti *switchgrass* dan *miscanthus* (Rock et al., 2021; Wang et al., 2021).

Biofuel generasi kedua menjanjikan pengurangan tekanan pada sumber pangan, pengembangannya memerlukan teknologi pengolahan yang lebih kompleks. Potensi untuk mengurangi jejak karbon lebih lanjut dan menghindari persaingan langsung dengan produksi pangan membuatnya menjadi opsi yang menarik dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalkan dampak negatif terhadap keamanan pangan global.

Produksi *biofuel* konvensional, yang mengandalkan air tawar dan tanaman pangan telah memicu kekhawatiran mendalam terkait dengan dilema "pangan versus bahan bakar". Penggunaan tanaman pangan sebagai sumber *biofuel* memunculkan konflik kepentingan antara memenuhi kebutuhan pangan global dan kebutuhan energi yang berkelanjutan (Zaky, 2021). Ini diperparah oleh konsekuensi penggunaan *biofuel* dari tanaman pangan, seperti potensi persaingan pasar yang ketat dan risiko kehilangan keanekaragaman hayati yang berharga (Guerrero, 2019).

Debat mengenai "pangan versus bahan bakar" telah menjadi sorotan selama beberapa tahun terakhir, menandakan perlunya mengevaluasi kembali metode produksi *biofuel* yang berkelanjutan. Penggunaan *biofuel* generasi pertama yang berasal dari tanaman pangan telah menimbulkan dilema tambahan terkait dengan persaingan langsung dengan produksi pangan (Diniz et al., 2023).

Solusi untuk mengatasi tantangan ini termasuk penelitian dan pengembangan lanjutan dalam *biofuel* generasi kedua dan ketiga. *biofuel* generasi ini menggunakan bahan baku non-pangan, seperti limbah pertanian dan mikroalga untuk mengatasi masalah keberlanjutan (Rock et al., 2021; Wang et al., 2021). Teknologi ini mengurangi tekanan pada sumber pangan dan membuka peluang untuk penggunaan lahan yang tidak cocok untuk pertanian pangan.

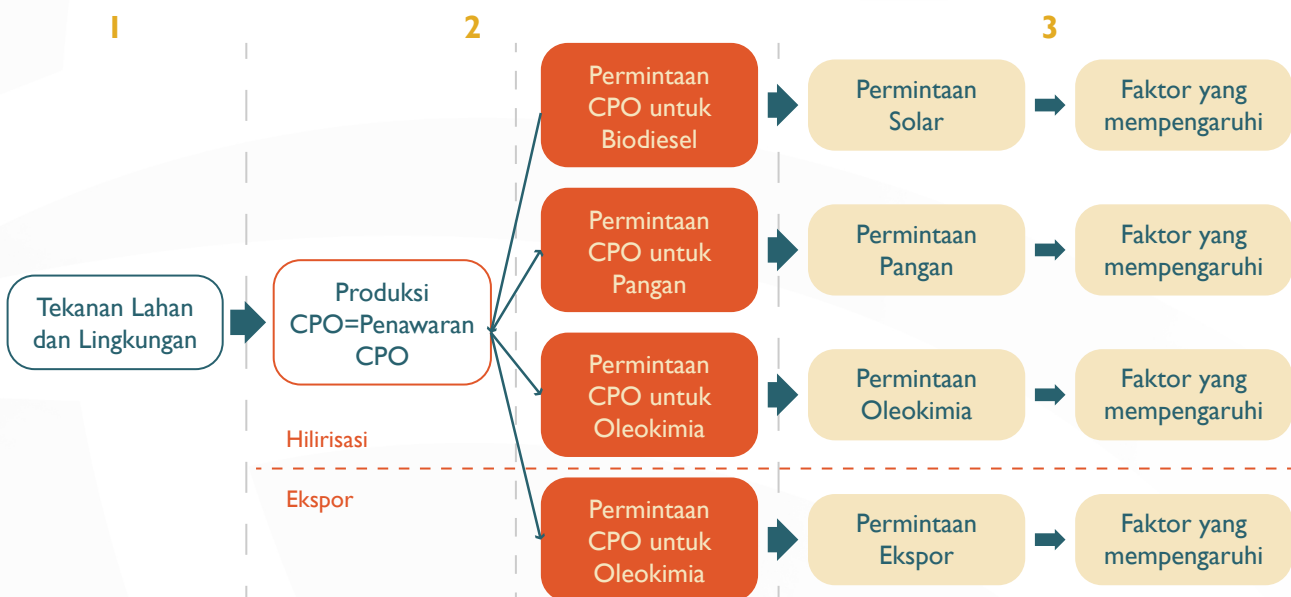
Melalui solusi inovatif dan berkelanjutan seperti pengembangan *biofuel* generasi berikutnya, maka dunia dapat mencapai sistem energi yang lebih berkelanjutan. Meskipun *biofuel* menawarkan alternatif energi terbarukan, tantangan terkait produksi pangan dan keberlanjutan lingkungan harus diatasi dengan solusi yang holistik dan terpadu.

Metode Penelitian

Terdapat tiga bagian utama dalam menganalisis bagaimana permintaan CPO untuk *biofuel* memberikan tekanan terhadap permintaan CPO untuk pangan (lihat Gambar 8). Bagian pertama adalah *input* awal yang mencakup faktor-faktor produksi CPO, seperti ketersediaan lahan. Bagian ini menggambarkan bagaimana ketersediaan lahan dapat terpengaruh oleh ekspansi produksi CPO.

Bagian kedua adalah interaksi antara produksi dan permintaan CPO yang dibagi menjadi empat bagian, yaitu permintaan CPO untuk biodiesel, permintaan CPO untuk pangan, permintaan CPO untuk oleokimia, dan permintaan CPO untuk ekspor. Bagian ini mengasumsikan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi produksi dan permintaan CPO bersifat eksternal.

Gambar 8. Kerangka Analisis Model Produksi dan Permintaan CPO



Bagian ketiga membahas kondisi pasar secara umum dari produk-produk yang dihasilkan dari CPO. Misalnya, jika bagian kedua membahas faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan CPO untuk biodiesel, bagian ketiga akan membahas faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan bahan bakar diesel secara keseluruhan, bukan hanya yang berasal dari biodiesel. Penelitian ini akan berfokus pada bagian kedua.

Penelitian ini memproyeksikan tingkat produksi, permintaan CPO untuk biodiesel, permintaan CPO untuk pangan, dan permintaan CPO untuk ekspor hingga tahun 2045. CPO yang dimaksud dalam penelitian ini mencakup produksi CPO dan PKO (*Palm Kernel Oil*). CPO dihasilkan dari daging buah kelapa sawit, sedangkan PKO dihasilkan dari inti buahnya (Larasati dkk., 2016). Model untuk memproyeksikan masing-masing variabel adalah sebagai berikut:

Model Produksi CPO

Produksi CPO adalah besarnya produksi CPO dan PKO yang dihasilkan Indonesia. Dalam analisis ini, produksi CPO merupakan fungsi dari luas lahan perkebunan sawit. Produksi CPO diestimasi dan diproyeksi menggunakan *error correction model* dengan persamaan jangka panjang dan pendek. Data PCPO (Produksi CPO) dan luas lahan perkebunan sawit yang digunakan diperoleh dari Badan Pusat Statistik dari tahun 2001 sampai 2022. Proyeksi produksi CPO sampai 2045 dihitung dengan beberapa skenario lahan yang dapat dilihat pada bagian skenario simulasi.

Model Permintaan CPO untuk Biodiesel

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang digunakan untuk memproduksi biodiesel. Model proyeksi permintaan CPO untuk biodiesel menggunakan model matematis, dengan langkah-langkah proyeksi sebagai berikut:

1. Melakukan proyeksi kebutuhan biodiesel pada tahun 2023-2030. Data dan proyeksi kebutuhan biodiesel pada penelitian ini diperoleh *Agricultural Outlook 2021-2030* (OECD, 2021). Sebagai informasi proyeksi OECD menggunakan asumsi kebijakan B30. Data dan proyeksi dari OECD selanjutnya digunakan untuk memproyeksi kembali kebutuhan biodiesel tahun 2031-2045 menggunakan metode *Holt Winter/Triple Exponential Smoothing/Error, Trend, Seasonality*.
2. Menghitung kebutuhan biodiesel berdasarkan program bauran biodiesel, artinya *B₂₀* merupakan bilangan asli 1 sampai 100 sesuai dengan kebijakan mandatori pemerintah. Skenario bauran biodiesel yang digunakan dapat dilihat pada bagian skenario simulasi. Program bauran biodiesel adalah program pemerintah untuk mewajibkan pencampuran biodiesel dengan bahan bakar minyak jenis solar. Contohnya, program B20 artinya program pemerintah untuk mewajibkan pencampuran 20% biodiesel dengan 80% bahan bakar minyak jenis solar.
3. Menghitung kebutuhan CPO untuk produksi biodiesel pada masing-masing skenario bauran biodiesel.

Model Permintaan CPO untuk Pangan

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang digunakan untuk memproduksi pangan. Model proyeksi permintaan CPO untuk pangan menggunakan model matematis, dengan langkah-langkah proyeksi sebagai berikut:

1. Melakukan proyeksi kebutuhan pangan dari CPO (minyak goreng dari sawit) tahun 2023-2030, di mana kebutuhan minyak goreng sawit didapat dari pengalihan jumlah penduduk dan konsumsi minyak goreng sawit per kapita yang diasumsikan sebesar 19,95 kg/kapita/tahun, yang diperoleh dari rata-rata konsumsi per kapita minyak goreng tahun 2018-2022. Nilai konsumsi per kapita ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh PASPI (2021), di mana besarnya konsumsi pada 2020 sebesar 19,6 kg/kapita/tahun (PASPI, 2021). Proyeksi jumlah penduduk sampai tahun 2045 yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proyeksi Badan Pusat Statistik.
2. Menghitung kebutuhan CPO untuk pangan dengan asumsi volume minyak goreng yang diproduksi per 1 ton CPO diasumsikan sebesar 683 kg dan 1 liter minyak goreng diasumsikan sama dengan 0,8 kg (Trihusodo, 2022).

Model Permintaan CPO untuk Oleokimia

Model proyeksi permintaan CPO untuk oleokimia hanya berdasarkan pada komposisi historis dari CPO untuk oleokimia terhadap CPO secara keseluruhan. Komposisi permintaan CPO untuk oleokimia sampai tahun 2045 diasumsikan sebesar 3,91% dari total produksi CPO, yang diperoleh dari rata-rata proporsi permintaan CPO untuk oleokimia tahun 2020-2022.

Model Permintaan CPO untuk Ekspor

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang diekspor. Permintaan CPO untuk ekspor merupakan fungsi dari harga CPO global. Estimasi dan proyeksi permintaan CPO untuk ekspor sampai 2045 menggunakan *error correction model* di mana CPOE merupakan Permintaan CPO untuk Ekspor (ribu ton) dan HCPO adalah Harga CPO Dunia (USD/mt).

Data untuk membentuk model permintaan CPO untuk ekspor menggunakan data ekspor dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) sejak Januari 2020 sampai Oktober 2023 serta data harga CPO dunia bulanan dari Pink Sheet, Bank Dunia. Harga CPO dunia yang digunakan sebagai *shock* untuk memproyeksi permintaan CPO untuk ekspor diperoleh menggunakan metode *Holt Winters/Triple Exponential Smoothing/Error, Trend, Seasonality* seperti pada Persamaan 4. Untuk memproyeksi harga CPO bulanan untuk bulan November 2023 sampai Desember 2045, menggunakan data harga bulanan dari Januari 1960 sampai Oktober 2023 yang bersumber dari Pink Sheet, Bank Dunia.

Skenario Simulasi

Skenario Luas Lahan Perkebunan Sawit

1. Skenario 1, luas lahan perkebunan sawit diasumsikan tumbuh konstan sebesar 1,74% per tahun. Nilai pertumbuhan 1,74% merupakan pertumbuhan rata-rata selama tahun 2018-2022.
2. Skenario 2, luas lahan perkebunan sawit diasumsikan tumbuh konstan sebesar 1% per tahun.
3. Skenario 3, luas lahan perkebunan sawit diasumsikan tetap tumbuh 1,74% pada tahun 2023 dan luasan lahan pada tahun 2024-2045 diasumsikan sama dengan luas lahan perkebunan sawit 2023.

Skenario Bauran Biodiesel

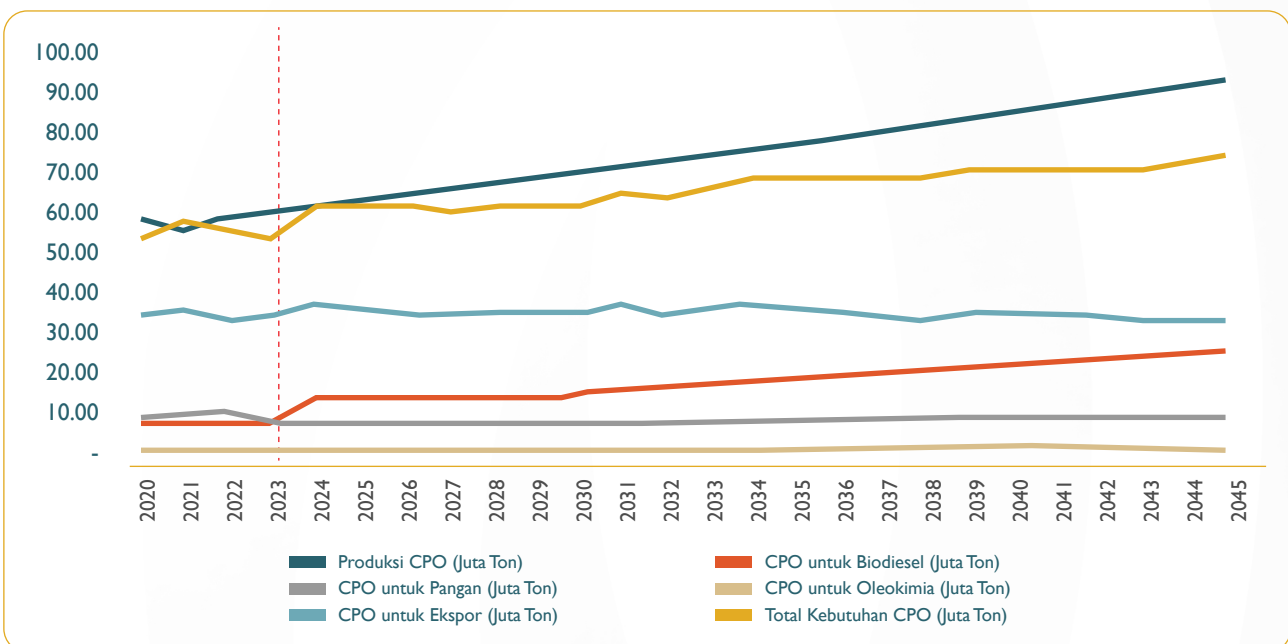
1. Skenario (a), pada tahun 2023 ditetapkan bauran biodiesel sebesar 30% (B30) dan tahun 2024-2045 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 35% (B35). Penerapan B35 diaplikasikan dalam model mulai tahun 2024, meskipun B35 sudah mulai berlaku secara nasional sejak tahun Agustus 2023 (Nano, 2023).
2. Skenario (b), pada tahun 2023 ditetapkan bauran biodiesel sebesar 30% (B30), tahun 2024 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 35% (B35), dan tahun 2025-2045 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 40% (B40). Kebijakan B40 mulai diterapkan tahun 2025 dengan pertimbangan B50 akan tercapai pada tahun 2029 (Wahyudi, 2023).
3. Skenario (c), pada tahun 2023 ditetapkan bauran biodiesel sebesar 30% (B30), tahun 2024 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 35% (B35), tahun 2025-2028 bauran biodiesel ditetapkan

sebesar 40% (B40), dan tahun 2029-2045 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 50% (B50) (Wahyudi, 2023).

4. Skenario (d), pada tahun 2023 ditetapkan bauran biodiesel sebesar 30% (B30), tahun 2024 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 35% (B35), tahun 2025-2028 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 40% (B40), tahun 2029-2034 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 50% (B50) (Wahyudi, 2023), dan tahun 2035-2045 bauran biodiesel ditetapkan sebesar 100% (B100). Skenario B100 didasarkan pada target sektor energi yang ingin dicapai oleh pemerintah (Arvirianty, 2019) dan tahun penetapan kebijakan ini ditetapkan oleh peneliti.

Hasil dan Pembahasan

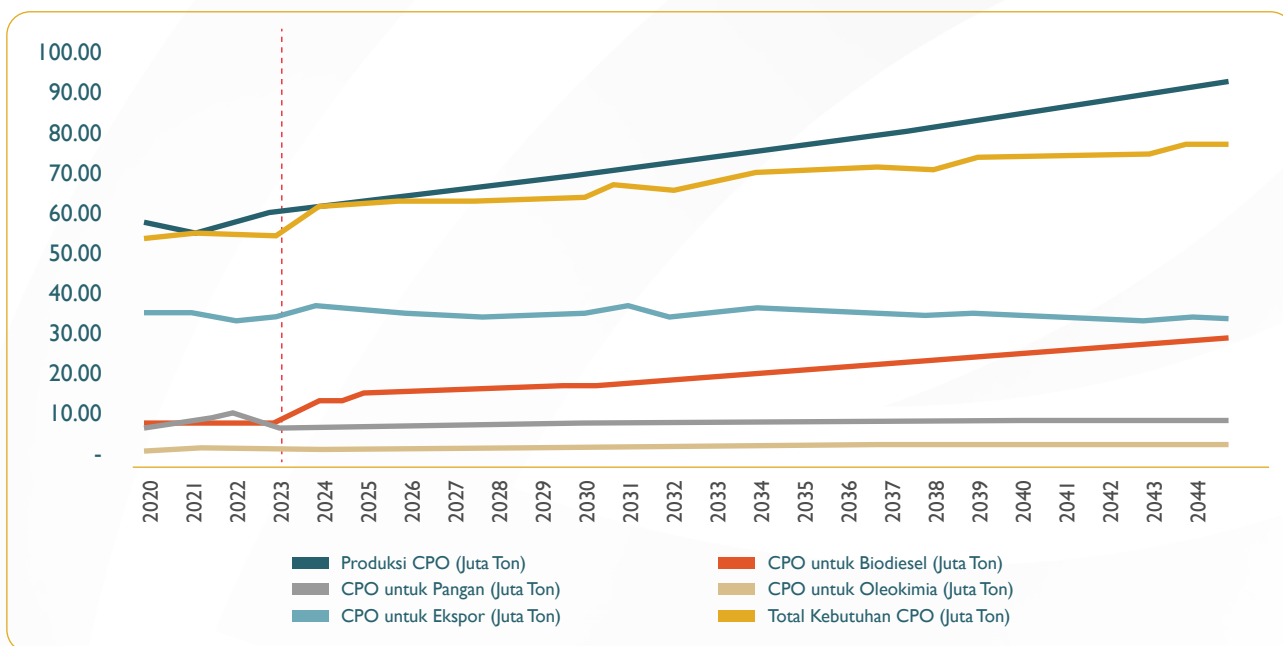
Gambar 9. Hasil Skenario Ia



Berdasarkan Gambar 9 yang merupakan Hasil simulasi dari Skenario Ia mencerminkan prospek yang menarik. Dalam konteks ini, pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1,74% setiap tahun, serta penerapan campuran biodiesel B30 pada tahun 2023 yang diikuti dengan kenaikan menjadi B35 dari tahun 2024 hingga 2045 menjadi fokus analisis. Simulasi ini menunjukkan bahwa produksi CPO lebih dari mencukupi permintaan yang menghasilkan surplus yang signifikan. Kebutuhan CPO untuk segala keperluan termasuk biodiesel, pangan, dan oleokimia, serta untuk ekspor, tetap terkendali di bawah tingkat produksi CPO.

Penurunan sementara dalam kebutuhan CPO pada tahun 2023 yang diikuti dengan peningkatan yang signifikan pada tahun 2024 setelah penerapan campuran B35, menandai perubahan yang berdampak dalam pasar. Meskipun demikian, tidak terjadi kekurangan pasokan atau tekanan berlebihan pada permintaan CPO untuk keperluan domestik. Dengan demikian, kesimpulan yang dapat ditarik adalah bahwa kebijakan campuran biodiesel B30 dan B35 bersama dengan pertumbuhan lahan perkebunan sawit, mempertahankan keseimbangan antara produksi dan permintaan CPO secara efektif.

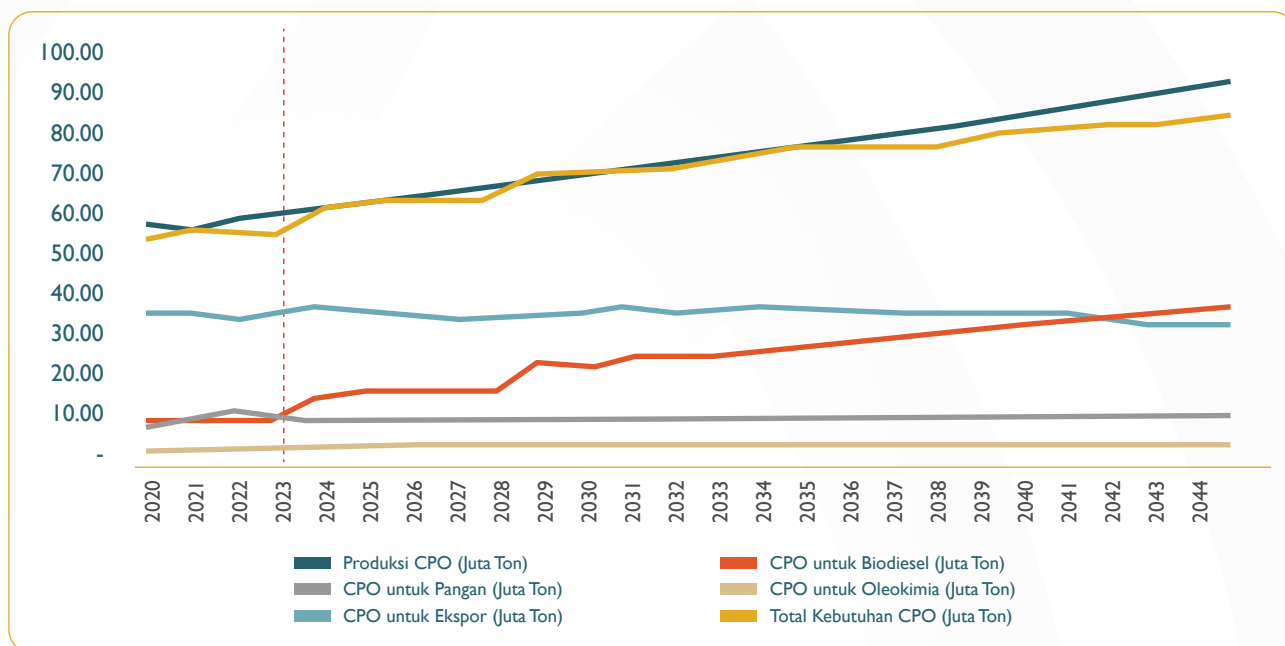
Gambar 10. Hasil Simulasi Skenario 1b



Hasil simulasi dari Skenario 1b, yang tergambar dalam Gambar 10 menarik untuk disimak. Dalam skenario ini, pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1,74% per tahun disertai dengan kebijakan campuran biodiesel B30 mulai 2023, diikuti oleh B35 pada 2024, dan B40 dari 2025 hingga 2045. Neraca CPO menunjukkan surplus secara keseluruhan, serupa dengan temuan dalam simulasi Skenario 1a, dengan produksi mencapai 89,44 juta ton dan kebutuhan sebesar 74,33 juta ton pada tahun 2045. Namun, perlu diperhatikan bahwa saat kebijakan B40 diterapkan pertama kali pada tahun 2025, terjadi defisit atau kelebihan permintaan CPO untuk berbagai keperluan seperti pembuatan biodiesel, pangan, oleokimia, dan ekspor dibandingkan dengan produksinya. Meskipun demikian, kebutuhan total CPO kembali berada di bawah tingkat produksi pada tahun 2026 dan seterusnya.

Meskipun terjadi tekanan pada kebutuhan CPO untuk memenuhi kebijakan campuran biodiesel B30, B35, dan B40, serta pertumbuhan lahan 1,74% per tahun, namun secara keseluruhan tidak terjadi peningkatan tekanan pada permintaan CPO untuk pangan. Hal ini sejalan dengan hasil simulasi Skenario 1a. Meskipun pada tahun 2025, saat kebijakan B40 pertama kali diterapkan, terdapat kemungkinan sementara bahwa pasokan CPO untuk pangan mengalami tekanan, namun hal ini bersifat sementara dan hanya terjadi dalam jangka waktu yang sangat singkat.

Gambar 11. Hasil Simulasi Skenario 1c



Hasil simulasi dari Skenario 1c, yang tergambarkan dalam Gambar 11 menunjukkan gambaran yang menarik. Dalam skenario ini, pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1,74% per tahun bersama dengan kebijakan campuran biodiesel B30 mulai tahun 2023, diikuti oleh B35 pada 2024, B40 dari 2025 hingga 2028, dan B50 dari 2029 hingga 2045. Terjadi surplus produksi CPO pada tahun 2045 jika dibandingkan dengan total permintaan CPO secara keseluruhan, dengan produksi mencapai 89,44 juta ton dan kebutuhan sebesar 81,44 juta ton.

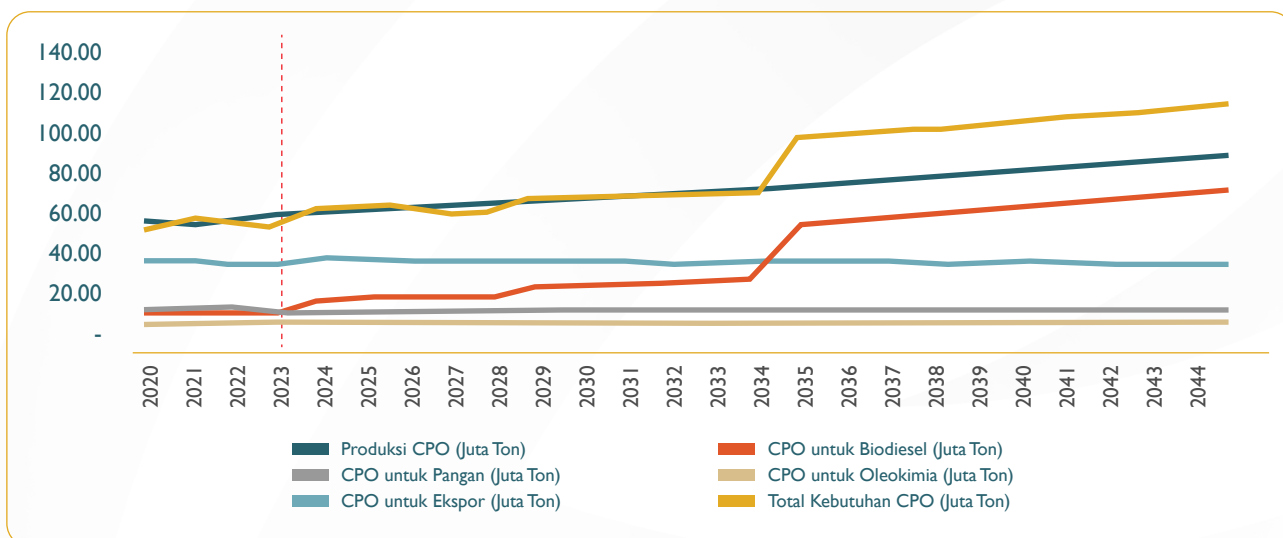
Meskipun sepanjang periode analisis terdapat periode di mana permintaan CPO melebihi produksinya, seperti pada tahun 2025, 2029, dan 2031, namun produksi CPO diproyeksikan akan kembali mengungguli permintaan pada tahun-tahun berikutnya hingga 2045.

Dari Skenario 1c, dapat dilihat bahwa meskipun ada tekanan dalam memenuhi kebijakan campuran biodiesel B30, B35, B40, dan B50, serta pertumbuhan lahan 1,74% per tahun, namun tekanan pada ketersediaan CPO untuk pangan tidak terjadi sepanjang periode proyeksi. Hal ini disebabkan oleh total kebutuhan CPO yang masih lebih rendah dari produksi CPO secara keseluruhan mulai dari tahun 2023 hingga 2045. Meskipun demikian, pada awal diterapkannya kebijakan bauran biodiesel terdapat kemungkinan sementara bahwa ketersediaan CPO untuk pangan mengalami tekanan, namun hal ini bersifat sementara dan hanya terjadi dalam jangka pendek.

Hasil proyeksi berdasarkan skenario dengan pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1,74% per tahun, serta penerapan campuran bauran B30 pada tahun 2023, B35 pada tahun 2024, B40 dari tahun 2025 hingga 2028, B50 dari tahun 2029 hingga 2034, dan B100 dari tahun 2035 hingga 2045, menggambarkan situasi yang menantang. Mulai tahun 2025 terjadi defisit dalam produksi CPO, dengan permintaan total melebihi produksi CPO.

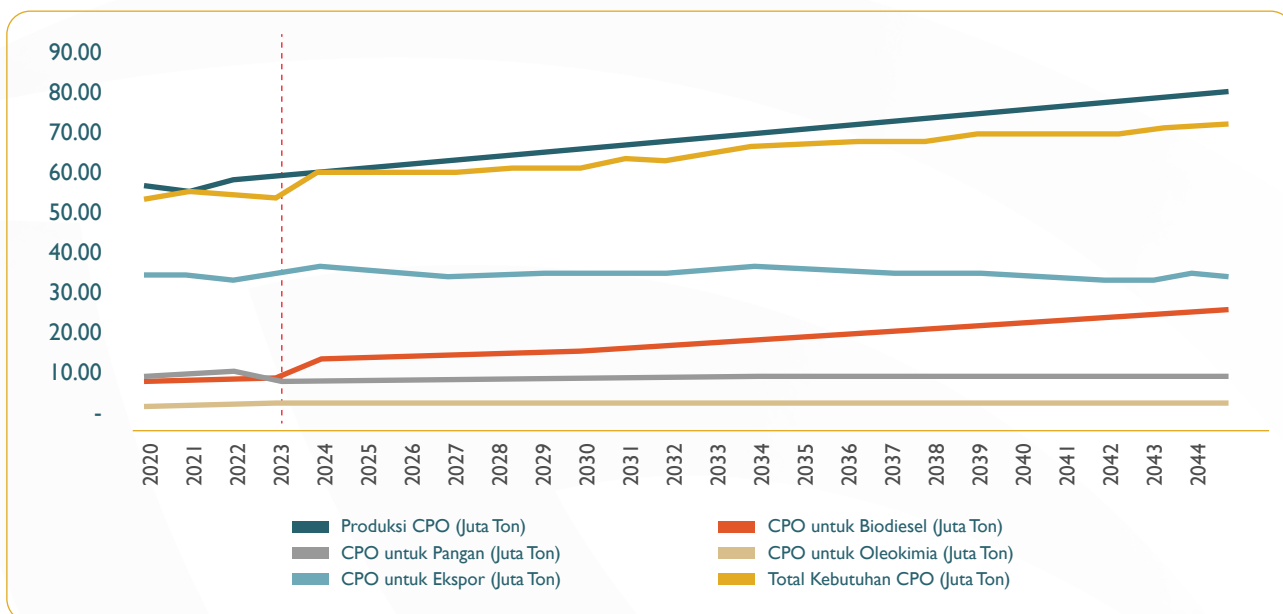
Meskipun terdapat periode-periode dengan surplus CPO antara tahun 2024 hingga 2034, defisit kembali terjadi pada tahun 2045 di mana kebutuhan CPO dalam negeri diproyeksikan mencapai 116,99 juta ton sementara produksi hanya mampu mencapai 89,44 juta ton, menyisakan defisit sebesar 27,55 juta ton. Pada tahun tersebut penggunaan CPO diproyeksikan sebesar 71,1 juta ton untuk biodiesel, 32,93 juta ton untuk ekspor, 9,47 juta ton untuk pangan, dan 3,49 juta ton untuk kebutuhan oleokimia.

Gambar 12. Hasil Simulasi Skenario 1d



Berdasarkan Skenario 1d, dapat dilihat bahwa sepanjang periode 2024 hingga 2045, terdapat potensi kelangkaan CPO untuk memenuhi semua permintaan. Kelangkaan CPO untuk kebutuhan pangan menjadi sebuah kemungkinan nyata terutama akibat kebijakan mandatori penggunaan campuran bauran biodiesel B100. Apabila kebijakan ekspor CPO tetap berjalan tanpa perubahan dari pemerintah, maka dapat terjadi kenaikan harga pada produk pangan yang menggunakan CPO dan turunannya. Tentu saja tekanan permintaan CPO yang meningkat akan berdampak pada kenaikan harga CPO baik di pasar global maupun domestik.

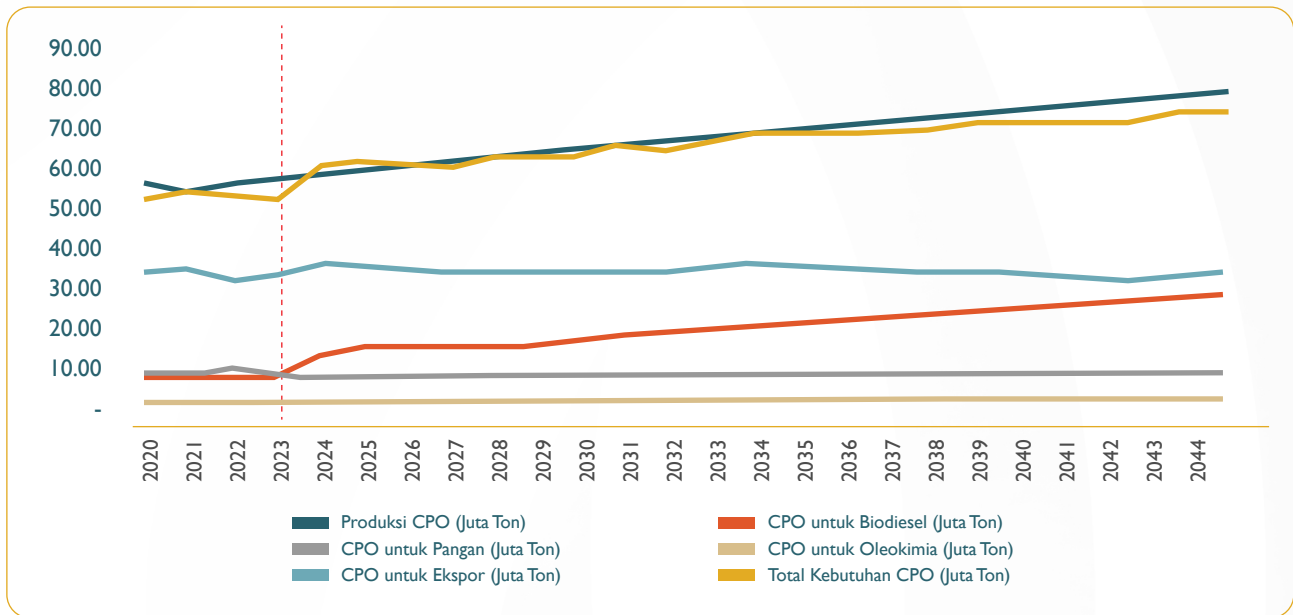
Gambar 13. Hasil Simulasi Skenario 2a



Dari hasil simulasi skenario 2a, yang melibatkan pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1% per tahun serta penerapan campuran bauran B30 pada tahun 2023 dan B35 dari tahun 2024 hingga 2045, terlihat bahwa neraca CPO cenderung mengalami surplus (dengan produksi mencapai 78,29 juta ton dan kebutuhan sebesar 70,77 juta ton pada tahun 2045) (lihat Gambar 13). Meskipun terdapat penurunan kebutuhan CPO pada tahun 2023, namun terjadi peningkatan yang signifikan pada tahun 2024 dengan berlakunya kebijakan B35. Dampaknya adalah kebutuhan CPO untuk biodiesel pada tahun 2045 meningkat tajam menjadi 24,89 juta ton, naik sebesar 196,48% dari tahun 2022.

Pada awal skenario ini terjadi defisit atau kelebihan permintaan CPO di pasar domestik pada tahun 2024, namun situasinya berangsur membaik seiring berjalannya waktu. Meskipun demikian, kebijakan bauran biodiesel B30 yang diterapkan bersamaan dengan B35 hingga 2045 cenderung akan menimbulkan tekanan pada permintaan CPO untuk pangan, oleokimia, dan ekspor pada fase awal simulasi. Produksi CPO yang masih mampu memenuhi permintaan, terutama karena adanya pertumbuhan lahan sebesar 1% per tahun, memberikan aspek positif bahwa kebutuhan CPO untuk semua sektor, baik domestik maupun ekspor, dapat terpenuhi dari tahun 2025 dan seterusnya.

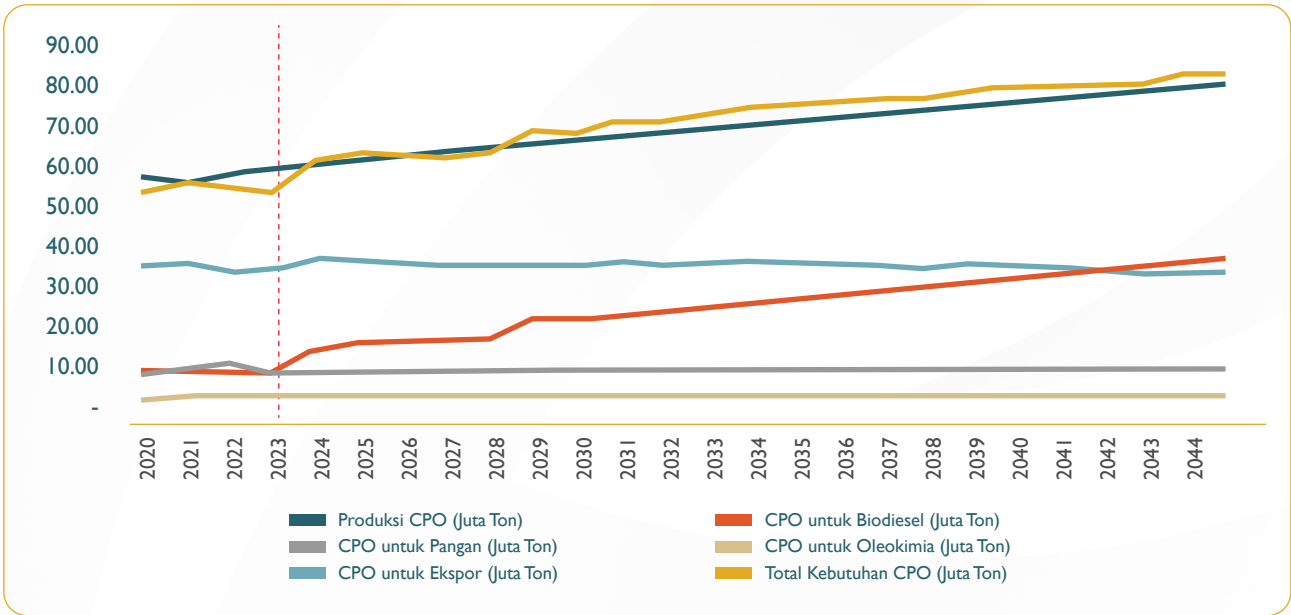
Gambar 14. Hasil Simulasi Skenario 2b



Gambar 14 memperlihatkan hasil simulasi dari skenario 2b. Dalam skenario ini, terjadi pertumbuhan lahan sebesar 1% per tahun dan penerapan campuran bauran biodiesel B30 pada tahun 2023, diikuti oleh B35 pada tahun 2024, dan B40 dari tahun 2025 hingga 2045. Secara umum, neraca CPO menunjukkan kelebihan produksi atau surplus, yang serupa dengan hasil simulasi dari skenario 2a (dengan produksi mencapai 78,29 juta ton dan kebutuhan sebesar 73,89 juta ton pada tahun 2045). Namun, ketika kebijakan B40 diterapkan pertama kali, terjadi defisit atau kelebihan permintaan CPO untuk biodiesel, pangan, oleokimia, dan ekspor dibandingkan dengan produksi CPO, terjadi pada tahun 2025, meskipun total kebutuhan CPO kembali turun pada tahun 2026.

Dari skenario 2b, tekanan terhadap permintaan CPO untuk memenuhi kebijakan bauran biodiesel B30, B35, dan B40, yang disertai dengan peningkatan lahan sebesar 1% per tahun, pada kebutuhan CPO untuk pangan, secara keseluruhan tidak terjadi, serupa dengan hasil simulasi skenario 2a. Hal ini disebabkan karena total kebutuhan CPO untuk semua sektor konsumsi termasuk ekspor, masih lebih rendah dari produksi CPO secara keseluruhan mulai dari tahun 2023 hingga 2045. Meskipun pada tahun 2025, ketika kebijakan B40 pertama kali diterapkan, ada kemungkinan sementara bahwa ketersediaan CPO untuk pangan mengalami tekanan akibat kebijakan ini, namun hal tersebut bersifat sementara dan hanya terjadi dalam jangka waktu yang sangat pendek.

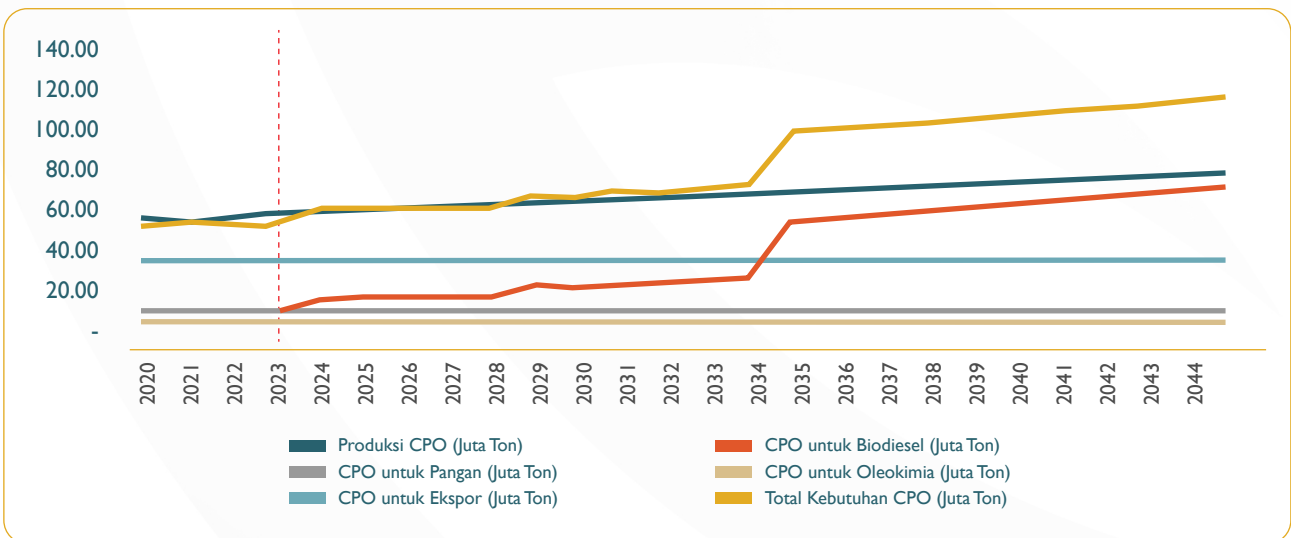
Gambar 15. Hasil Simulasi Skenario 2c



Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi dari Skenario 2c, di mana terjadi penambahan lahan sebesar 1% per tahun dan penerapan campuran bauran biodiesel B30 pada tahun 2023, B35 pada tahun 2024, B40 dari tahun 2025 hingga 2028, dan B50 dari tahun 2029 hingga 2045. Pada akhirnya, terjadi surplus produksi CPO pada tahun 2045 dibandingkan dengan total permintaan CPO (dengan produksi mencapai 78,29 juta ton dan kebutuhan sebesar 81 juta ton). Meskipun selama periode analisis, produksi CPO lebih besar dari kebutuhan pada tahun 2023, 2026, 2027, dan 2028, namun sejak tahun 2029, atau sejak pemberlakuan B50, produksi CPO tidak lagi memenuhi kebutuhan.

Dari Skenario 2c, dengan permintaan CPO untuk memenuhi kebijakan bauran biodiesel B30, B35, B40, dan B50, yang disertai dengan peningkatan lahan sebesar 1% per tahun, terjadi tekanan pada ketersediaan CPO sepanjang periode proyeksi. Hal ini disebabkan oleh total kebutuhan CPO untuk semua sektor konsumsi termasuk ekspor, yang melebihi produksi CPO secara keseluruhan. Dengan demikian, artinya kebutuhan CPO untuk pangan tidak dapat terpenuhi jika kebijakan wajib menggunakan bauran biodiesel dipaksakan untuk ditingkatkan.

Gambar 16. Hasil Simulasi Skenario 2d

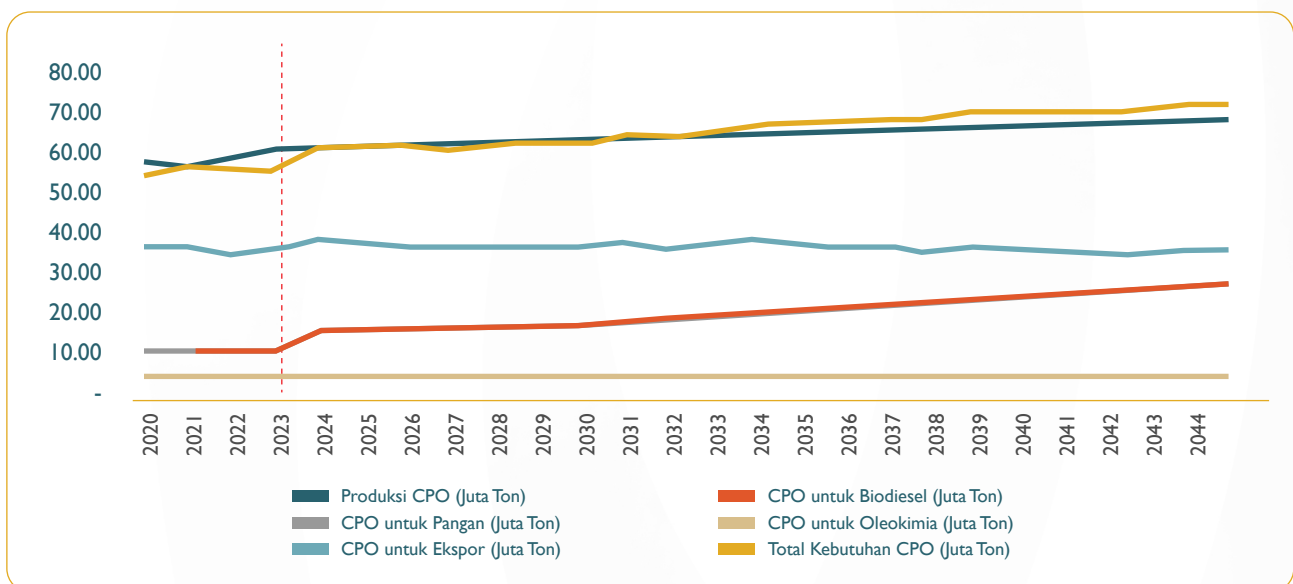


Skenario 2d mengasumsikan pertumbuhan lahan perkebunan kelapa sawit yang konstan sebesar 1% hingga tahun 2045, dengan penggunaan bauran B30 pada tahun 2023, B35 pada tahun 2024, B40 dari tahun 2025 hingga 2028, B50 dari tahun 2029 hingga 2034, dan B100 dari tahun 2035 hingga 2045. Meskipun selama periode analisis, produksi CPO lebih besar dari kebutuhan pada tahun 2023, 2026, 2027, dan 2028, namun sejak tahun 2029 atau sejak penerapan B100, produksi mengalami defisit.

Pada tahun 2045 diproyeksikan bahwa kebutuhan CPO dalam negeri mencapai 116,55 juta ton atau mengalami defisit sebesar 38,27 juta ton. Penggunaan CPO pada tahun 2045 terbagi menjadi 71,1 juta ton untuk biodiesel, 32,93 juta ton untuk ekspor, 9,47 juta ton untuk pangan, dan 3,49 juta ton untuk kebutuhan oleokimia.

Berdasarkan Skenario 2d, selama periode 2024-2045, terdapat potensi kelangkaan CPO untuk memenuhi semua permintaan CPO. Kelangkaan CPO untuk kebutuhan pangan dapat terjadi akibat penerapan mandatori penggunaan bauran biodiesel B100. Jika ekspor CPO tetap berlangsung sesuai pasar yang ada (tanpa adanya perubahan kebijakan pemerintah terkait ekspor), maka akan terjadi tekanan pada ketersediaan CPO untuk kebutuhan pangan. Dalam periode tersebut, kemungkinan terjadi kenaikan harga pangan yang menggunakan CPO atau produk turunannya, dan tentu saja, tekanan permintaan CPO akan meningkatkan harga CPO secara global maupun domestik.

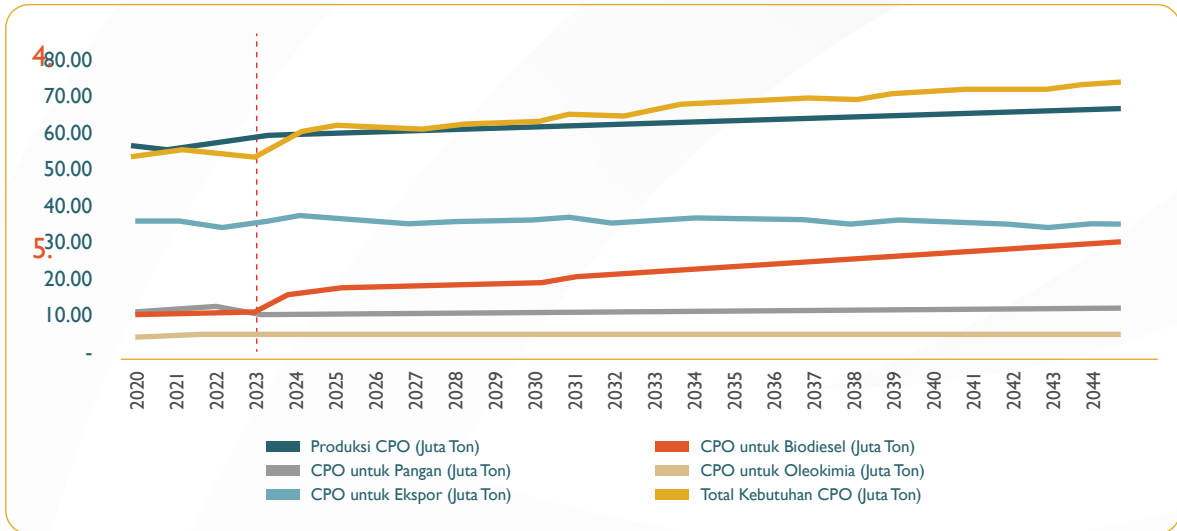
Gambar 17. Hasil Simulasi Skenario 3a



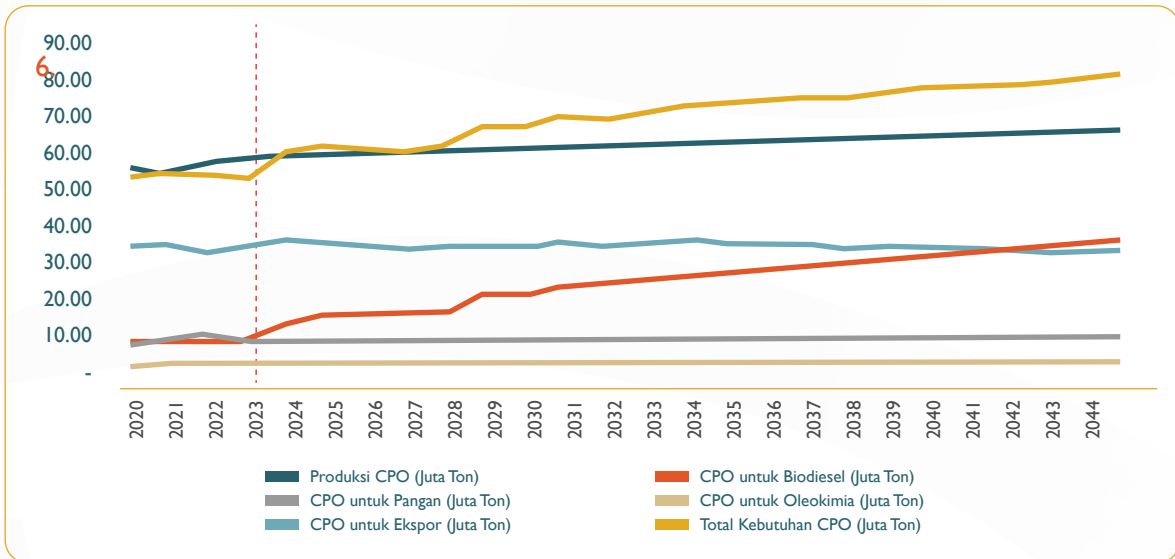
Skenario 3a menetapkan pertumbuhan lahan perkebunan kelapa sawit tetap pada 1,74% pada tahun 2023 dan luas lahan pada tahun 2024-2045 sama dengan luas lahan tahun 2023. Bauran biodiesel ditetapkan sebesar 30% (B30) pada tahun 2023, dan 35% (B35) pada tahun 2024-2045. Simulasi menunjukkan produksi CPO mengalami defisit secara umum. Selama periode 2023-2045, surplus hanya terjadi pada tahun 2026-2030, sementara pada tahun lainnya terjadi defisit. Pada 2045 defisit CPO mencapai 4,31 juta ton.

Hasil simulasi Skenario 3a menunjukkan bahwa tanpa ekspansi lahan sejak 2024, produksi CPO tidak dapat memenuhi permintaan bahkan dengan kebijakan bauran biodiesel B35. Kelangkaan CPO terutama untuk kebutuhan panga, dapat terjadi lebih cepat jika kebijakan ekspansi lahan ditiadakan dan ekspor CPO tetap berlangsung seperti biasa. Tekanan ini akan meningkatkan harga CPO domestik dan global serta produk turunannya.

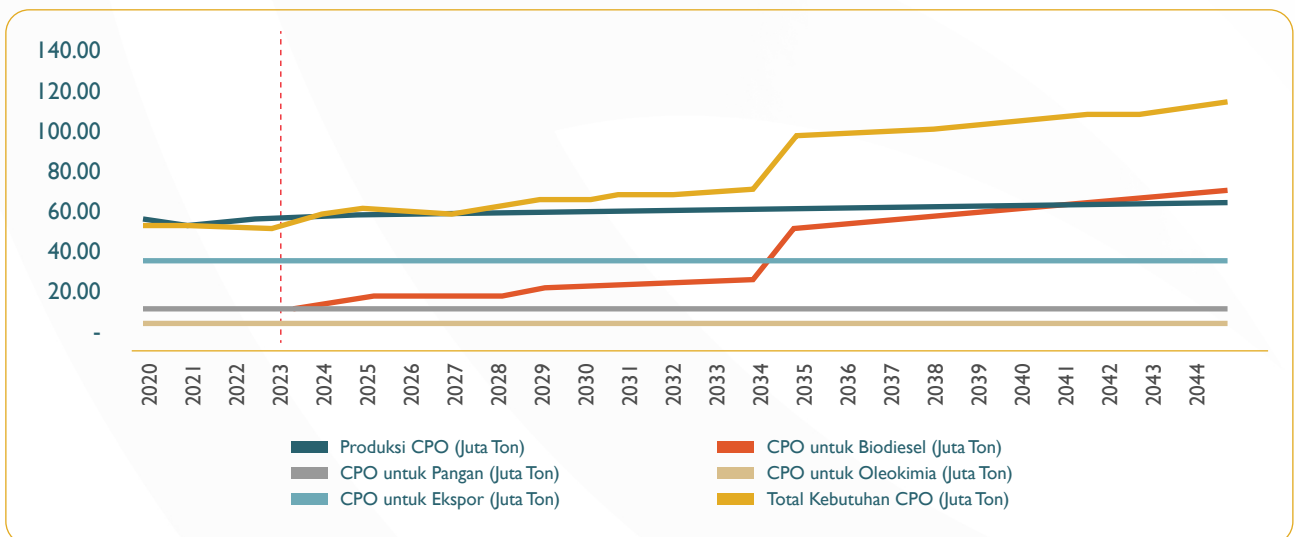
Gambar 18. Hasil Simulasi



a. Skenario 3b



b. Skenario 3c



c. Skenario 3d

Hasil simulasi untuk Skenario 3b, 3c, dan 3d menunjukkan defisit CPO mulai tahun 2024, dengan pertumbuhan lahan perkebunan sawit sebesar 1,74% pada tahun 2023 dan luas lahan yang konstan dari 2024-2045.

- **Skenario 3b:** Pada tahun 2045, defisit CPO mencapai 7,87 juta ton dengan kebutuhan total 73,39 juta ton dan produksi 65,53 juta ton. Kebutuhan CPO untuk biodiesel B40 pada tahun 2045 adalah 28,44 juta ton. Kebijakan bauran biodiesel diatur pada B30 untuk 2023, B35 untuk 2024, dan B40 dari 2025-2045.
- **Skenario 3c:** Dengan kebijakan bauran biodiesel B30 pada 2023, B35 pada 2024, B40 antara 2025-2028, dan B50 dari 2029-2045, defisit CPO pada tahun 2045 mencapai 14,98 juta ton dengan kebutuhan 80,50 juta ton dan produksi 65,53 juta ton. Kebutuhan CPO untuk biodiesel B50 pada tahun 2045 adalah 35,55 juta ton.
- **Skenario 3d:** Defisit CPO pada tahun 2045 diperkirakan mencapai 50,53 juta ton dengan kebutuhan 116,05 juta ton dan produksi 65,53 juta ton. Kebijakan bauran biodiesel ditetapkan B30 untuk 2023, B35 untuk 2024, B40 untuk 2025-2028, B50 untuk 2029-2034, dan B100 untuk 2035-2045.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Hasil simulasi dari tiga skenario menunjukkan bahwa Indonesia telah mengalami defisit produksi CPO sejak tahun 2024 (ketika kebijakan pencampuran B35 diterapkan). Ini berarti total permintaan CPO - untuk pangan, biodiesel, oleokimia, dan ekspor - melebihi jumlah produksi CPO yang dapat dihasilkan dengan luas lahan yang tetap seperti pada tahun 2023. Kekurangan produksi CPO ini menunjukkan potensi adanya tekanan pada permintaan CPO untuk kebutuhan pangan. Dengan asumsi tidak ada ekspansi lahan perkebunan kelapa sawit, tekanan terhadap ketersediaan CPO untuk pangan akan terjadi lebih awal - terutama pada bauran biodiesel yang lebih rendah - dan akan semakin parah saat kebijakan pencampuran biodiesel terus ditingkatkan dan ekspor CPO tetap berjalan sesuai pasar (tanpa ada perubahan kebijakan pemerintah terkait ekspor).

1. Jika lahan sawit meningkat 1,74% per tahun, semua kebijakan bauran biodiesel B30, B35, dan B40 tidak menyebabkan kelebihan permintaan CPO termasuk CPO untuk ekspor, dibandingkan volume CPO yang diproduksi. Artinya, jika lahan terus ditingkatkan konsisten sebesar pertumbuhan tersebut sampai 2045, produksi akan aman dalam memenuhi permintaan CPO domestik untuk hilirisasi dan permintaan luar negeri. Produksi akan tidak mampu memenuhi permintaan domestik dan ekspor jika kebijakan bauran B100 diterapkan. Pada titik dimulainya excess demand ini terjadi, ketersediaan CPO pangan mulai terancam oleh kebijakan bauran biodiesel, jika ekspor yang cukup besar porsinya dari permintaan berjalan sesuai permintaan pasar internasional.
2. Pengurangan ekspor dapat menjadi alternatif kebijakan untuk menyelamatkan tekanan ketersediaan CPO untuk pangan saat mandatori kebijakan bauran biodiesel menyebabkan tidak mampunya produksi CPO memenuhi semua permintaan domestik. Misalnya, jika produksi biodiesel B100 dipaksakan sesuai kebijakan mandatori, maka kekurangan ketersediaan CPO untuk pangan diambil dari CPO yang seharusnya diekspor.
3. Dengan tidak adanya perubahan kebijakan ekspor, maka jika terjadi kelebihan permintaan terhadap produksi CPO, kebijakan bauran biodiesel yang menggunakan CPO sebagai bahan baku akan

berdampak kepada ketersediaan CPO untuk pangan, selanjutnya akan meningkatkan harga pangan dan inflasi secara keseluruhan dan tentu saja harga CPO itu sendiri di pasar dunia dan domestik.

4. Waktu/tahun penerapan kebijakan bauran biodiesel terutama B100 menentukan titik di mana mulai terjadinya kelebihan permintaan terhadap produksi/penawaran. Semakin cepat kebijakan tersebut diimplementasikan, maka akan mempercepat tekanan terhadap penyediaan CPO untuk pangan.
5. Dengan kondisi kebijakan bauran biodiesel yang disimulasikan, besarnya produksi CPO tetap menentukan besarnya tekanan permintaan terhadap produksi. Dalam hal ini peningkatan atau penurunan lahan sawit akan menentukan besarnya produksi CPO. Jika produksi meningkat dan sanggup memenuhi permintaan domestik dan ekspor, maka ketersediaan CPO untuk pangan akan tetap aman, dan sebaliknya. Perluasan lahan kebun sawit kemungkinan akan melibatkan deforestasi dan meningkatkan emisi GRK. Hal ini tentu bertentangan dengan niat pemerintah untuk meredam emisi GRK. Salah satu penyebab utama industri biodiesel berbasis sawit Indonesia belum memberikan tekanan (khususnya pada Skenario 1) kepada pangan adalah masih adanya deforestasi. Peningkatan bauran biodiesel secara cepat dan masif memunculkan ancaman bagi ketahanan pangan.
6. Kebijakan bauran seperti B30, B35, dan seterusnya, di mana penerapan bauran biodiesel yang lebih kecil (misalnya, B35 lebih kecil dari pada B40) akan menimbulkan *shortage* permintaan CPO terhadap produksi CPO, pada penambahan lahan yang semakin rendah. Artinya, kelangkaan CPO untuk pangan juga akan semakin cepat terjadi.

Simulasi menunjukkan bahwa Indonesia telah mengalami defisit produksi CPO sejak tahun 2024 (ketika kebijakan pencampuran B35 diterapkan). Penulis merekomendasikan *biofuel* atau biodiesel sebaiknya diproduksi menggunakan bahan baku limbah, baik dari pertanian, limbah domestik, atau limbah industri seperti minyak goreng bekas. Penggunaan limbah sebagai bahan baku *biofuel* dapat membantu mengurangi dampak persaingan permintaan CPO untuk *biofuel* atau digunakan untuk produksi pangan dan mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Sebaliknya, tidak hanya tanaman pangan seperti sawit yang dapat menyebabkan tekanan pada lahan atau konflik pada lahan. Tanaman non-pangan ini, misalnya tanaman jarak, juga memerlukan lahan yang dapat menekan ketersediaan lahan untuk tanaman pangan, dan akhirnya harga pangan. Dengan fokus pada penggunaan limbah, *biofuel* dapat menjadi solusi yang lebih berkelanjutan dalam mendukung kebutuhan energi tanpa mengorbankan keamanan pangan atau merusak lingkungan.

Maka dari itu, diperlukan pengembangan potensi biodiesel yang diproduksi menggunakan bahan baku limbah dengan memberikan dukungan berupa investasi teknologi bioenergi baru yang dapat meningkatkan efisiensi produksi biodiesel tanpa mengorbankan pasokan pangan yang berdampak pada ketahanan pangan di Indonesia. Pendekatan holistik seperti ini perlu dilakukan agar perumusan kebijakan bioenergi mempertimbangkan dampak terhadap pangan dan lingkungan.

Daftar Pustaka

- Ahmed, S., Warne, T., Smith, E., Goemann, H., Linse, G., Greenwood, M., & Stoy, P. (2021). Systematic review on effects of bioenergy from edible versus inedible feedstocks on food security. *NPJ Science of Food*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-021-00091-6>
- Alen, V. P. L., Hidayat, A., & Khairur, R. (2021). Upaya Presiden Jokowi Dodo dalam menghadapi penolakan ekspor komoditas CPO (Crude Palm Oil) oleh Uni Eropa Pada Tahun 2017-2020. *Indonesian Journal of Global Discourse*, 3(1), 110–131. <https://doi.org/10.29303/ijgd.v3i1.28>
- Alsaffar M.A., Ayodele B.V., Abdel Ghany M.A., Yousif Shnain Z., and Mustapa S. I., 2020. "The prospect and challenges of renewable hydrogen production in Iraq," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 737, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/737/1/012197.
- Altenburg T, Dietz H, Hahl M, Nikolidakis N, Rosendhal C, Seelige K. 2009. Biodiesel in India: Value chain organisation and policy options for rural development. The German Development Institute, Bonn, Germany
- Arvirianty, A. (2019). Janji Sektor Energi Jokowi: Dari B20 Naik ke B100. *CNBC Indonesia*. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190218081357-4-56059/janji-sektor-energi-jokowi-dari-b20-naik-ke-b100>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022. <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/11/30/160f211bfc4f91e1b77974e1/statistik-kelapa-sawit-indonesia-2022.html>
- Bhagea, R., Bhoyroo, V., & Puchooa, D. (2019). Microalgae: the next best alternative to fossil fuels after biomass. a review. *Microbiology Research*, 10(1). <https://doi.org/10.4081/mr.2019.7936>
- Debnath, D., Khanna, M., Rajagopal, D., & Zilberman, D. (2019). The future of biofuels in an electrifying global transportation sector: imperative, prospects and challenges. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 41(4), 563-582. <https://doi.org/10.1093/aep/41/4/563>
- Diaz-Chavez, R., Mutimba, S., Watson, H., Rodriguez-Sanchez, S. and Nguer, M. 2010. Mapping Food and Bioenergy in Africa. A report prepared on behalf of FARA. Forum for Agricultural Research in Africa.
- Diniz, M., Carreiro, S., Paes, J., & Grajales, L. (2023). Transformation of solid waste into renewable energy: perspectives for the production of 2g biofuels. *Engenharia Agrícola*, 43(spe). <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v43nepe20220140/2023>
- Emeria, D. C. (2022). Harga CPO Bakal Lanjut Terbang, Ini Penyebabnya! *CNBC Indonesia*. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220202063153-4-312154/harga-cpo-bakal-lanjut-terbang-ini-penyebabnya>
- Febriatama, A. R. A. (2020). Faktor Eksternal Pendorong Percepatan Pelaksanaan Mandat Biodiesel 30 (Mandat B30) Indonesia. Universitas Airlangga.
- Gasparatos, A., Stromberg, P. and Takeuchi, K., 2013. Sustainability Impacts of First-generation Biofuels, *Animal Frontiers*, Vol. 3, No. 2, pp 12-26, <http://dx.doi.org/10.2527/af.2013-0011>
- Gazal, A., Jakrawatana, N., Silalertruksa, T., & Gheewala, S. (2021). Water-energy-food nexus review for biofuels assessment. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 193-205. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.41119>

- Guerrero, A. (2019). Assessing the penetration of bioethanol in the andean community: a review. *Revista Vínculos*, 4(1). <https://doi.org/10.24133/vinculospe.v4i1.1536>
- Gunatilake H, Pohit S, Sugiyarto G. 2011a. Economy-wide impacts of biodiesel production and use in India: A computable general equilibrium model assessment. Asian Development Bank Working Paper No. 4. ADB, Manila.
- Gunatilake H, Roland-Holst D, Sugiyarto G, Baka J. 2011b. Energy security and economics of Indian biofuel strategy in a global context. ADB Economics Working Paper Series No. 269. Manila: ADB.
- Hasegawa, T., Sands, R., Brunelle, T., Cui, R., Frank, S., Fujimori, S. & Popp, A. 2020. Food security under high bioenergy demand toward long-term climate goals. *Climatic Change*, 163(3), 1587-1601. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02838-8>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (2nd ed.). OTexts. [OTexts.com/fpp2](https://otexts.com/fpp2)
- KESDM. (2019). FAQ : Program Mandatori Biodiesel 30% (B30). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/19/2434/faq.program.mandatori.biodiesel.30.b30>
- Larasati, N., Chasanah, S., Machmudah, S., & Winardi, S. (2016). Studi Analisa Ekonomi Pabrik CPO (Crude Palm Oil) dan PKO (Palm Kernel Oil) Dari Buah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16851>
- Khan MA, Bonifacio S, Clowes J, Foulds A, Holland R, Matthews JC, Percival CJ, Shallcross DE. 2021. Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. *Atmosphere* 12 (10):1289. <https://doi.org/10.3390/atmos12101289>
- Kichonge, B. and Kivevele, T. (2023). Viability of non-edible oilseed plants and agricultural wastes as feedstock for biofuels production: a techno-economic review from an african perspective. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 17(5), 1382-1410. <https://doi.org/10.1002/bbb.2489>
- Minot, N. 2010. Transmission of World Food Price Changes to Markets in Sub-Saharan Africa. International Food Policy Research Institute
- Moyib, O. and Omotola, O. (2018). Fatty acid methyl ester of nigerian spent palm and peanut oils: non-food option for biodiesel to safe food security and environment (part i). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(5), 797. <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i5.35>
- Muhamad, Nabilah (2024). Rekor Baru, Luas Lahan Sawit RI Capai 15,38 Juta Ha pada 2022. Databoks Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/01/30/rekor-baru-luas-lahan-kelapa-sawit-ri-capai-1538-juta-ha-pada-2022>
- Nano, V. (2023). Luncurkan B35, RI Jadi Contoh Sukses Kembangkan Biodiesel. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231225134652-4-500213/luncurkan-b35-ri-jadi-contoh-sukses-kembangkan-biodiesel#:~:text=Adapun%2C implementasi dari program B35,dilakukan pada 1 Agustus 2023.>
- Nikhom, R., Mueanmas, C., Suppalakpanya, K., & Tongurai, C. (2019). Utilization of oil recovered from biodiesel wastewater as an alternative feedstock for biodiesel production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(3). <https://doi.org/10.1002/ep.13365>

- Olanrele, I., Lawal, A., Oseni, E., Akande, J., Lawal-Adedoyin, B., Elleke, C & Nweke-Love, H. (2020). Accessing the impacts of contemporary development in biofuel on agriculture, energy and domestic economy: evidence from Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 469-478. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10169>
- Parthiban K. T., Revathi S., Fernandez C. C., and Umadevi M., 2021. "Characterization of *Jatropha* hybrid clones grown under subtropical conditions of south India," *Electron. J. Plant Breed.*, vol. 12, no. 1, doi:10.37992/2021.1201.032
- PASPI. (2021). MINYAK GORENG SAWIT DALAM PERUBAHAN KONSUMSI MINYAK GORENG DI INDONESIA. *Palm Journal: Analisis Isu Strategis Sawit*, 11(25), 433–438.
- Roberts J and Florentine S. 2021. "Biology, distribution and management of the invasive *Jatropha gossypifolia* (Bellyache bush): A global review of current and future management challenges and research gaps," *Weed Research*, vol. 61, no. 6. doi: 10.1111/wre.12504
- Robles, M. 2011. Assessing the Impact of Increased Global Food Price on the Poor. International Food Policy Research Institute.
- Rock, A., Novoveská, L., & Green, D. 2021. Synthetic biology is essential to unlock commercial biofuel production through hyper lipid-producing microalgae: a review. *Applied Phycology*, 2(1), 41-59. <https://doi.org/10.1080/26388081.2021.1886872>
- Sahara, Dermawan, A., Amaliah, S. et al. 2022. Economic impacts of biodiesel policy in Indonesia: a computable general equilibrium approach. *Economic Structures* 11, 22. <https://doi.org/10.1186/s40008-022-00281-9>
- Salleh SF, Roslan MEM, Rahman AA, Shamsuddin AH, Abdullah TART, Sovacool BK. 2020. Transitioning to a sustainable development framework for bioenergy in Malaysia: policy suggestions to catalyse the utilisation of palm oil mill residues. *Energy Sustain Soc*. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-00269-y>
- Sarwer, A., Hussain, M., Al-Muhtaseb, A., Inayat, A., Rafiq, S., Khurram, M., ... & Jamil, F. 2022. Suitability of biofuels production on commercial scale from various feedstocks: a critical review. *Chembioeng Reviews*, 9(5), 423-441. <https://doi.org/10.1002/cben.202100049>
- Thifal, M., Mustaqimah, & Darwin. (2023). Analisis Rendemen Biodiesel yang Dihasilkan CPO (Crude Palm Oil) dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(1), 278–282.
- Trihusodo, P. (2022). Produksi Sawit Melimpah dan Harga Terus Membaik. Indonesia.Go.Id: Portal Informasi Indonesia. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/4948/produksi-sawit-melimpah-dan-harga-terus-membaik?lang=1#:~:text=Ketika harga CPO mencapai puncak,menjadi 683 gram minyak goreng.>
- Wahyudi, N.A. (2023). Lebih Cepat dari Jokowi, Prabowo-Gibran Ingin Biodiesel B50 Jalan 2029. *Bisnis.Com*.
- Wang, Z., Zheng, F., & Xue, S. 2019. The economic feasibility of the valorization of water hyacinth for bioethanol production. *Sustainability*, 11(3), 905. <https://doi.org/10.3390/su11030905>
- Yadeta, H., Sori, G., & Ferede, A. 2021. Contribution of bioenergy production to household income and food supply in Ethiopia. *American Journal of Modern Energy*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.ajme.20210701.11>
- Zaky, A.S. (2021) 'Introducing a marine biorefinery system for the integrated production of biofuels, high-value-chemicals, and co-products: A path forward to a sustainable future', *Processes*, 9(10), p. 1841.

Lampiran

Model Produksi CPO

Produksi CPO adalah besarnya produksi CPO dan PKO yang dihasilkan Indonesia. Dalam analisis ini produksi CPO merupakan fungsi dari luas lahan perkebunan sawit (Persamaan 1).

$$PCPO = f(L) \quad (1)$$

Produksi CPO diestimasi dan diproyeksi menggunakan error correction model, dengan persamaan jangka panjang sebagai berikut:

$$PCPO_t = \alpha_0 + \alpha_1 L_t + e_t \quad \dots\dots\dots(2) \text{ dan}$$

persamaan jangka pendek sebagai berikut:

$$DPCPO_t = \alpha_0 + \alpha_1 D L_t + e_t - e_{t-1} + \dots\dots\dots(3) \text{ di mana,}$$

PCPO adalah Produksi CPO (ton) dan L merupakan Luas Lahan (ha).

Data produksi CPO dan luas lahan perkebunan sawit yang digunakan diperoleh dari Badan Pusat Statistik dari tahun 2001 sampai 2022. Proyeksi produksi CPO sampai 2045 dihitung dengan beberapa skenario lahan yang dapat dilihat pada bagian skenario simulasi.

Model Permintaan CPO untuk Biodiesel

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang digunakan untuk memproduksi biodiesel. Model proyeksi permintaan CPO untuk biodiesel menggunakan model matematis, dengan langkah-langkah proyeksi sebagai berikut:

1. Melakukan proyeksi kebutuhan biodiesel pada tahun 2023-2030. Data dan proyeksi kebutuhan biodiesel pada penelitian ini diperoleh Agricultural Outlook 2021-2030 (OECD, 2021). Sebagai informasi proyeksi OECD menggunakan asumsi kebijakan B30. Data dan proyeksi dari OECD selanjutnya digunakan untuk memproyeksi kembali kebutuhan biodiesel tahun 2031-2045 menggunakan metode Holt Winter/Triple Exponential Smoothing/Error, Trend, Seasonality. Persamaan ETS dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{y}_{t+h|t} = (P_t + hbt)st+h-m(k+1) \quad (4)$$

Dimana $\hat{y}_{t+h|t}$ adalah peramalan untuk h periode ke depan, P_t adalah level pada waktu t, bt adalah tren pada waktu t, st adalah faktor musiman pada waktu t, m adalah frekuensi musiman, dan k adalah bilangan bulat dari $(h-1)/m$ (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

2. Menghitung kebutuhan biodiesel dengan rumus:

$$Bn^* = Bn \times 100 \times 40 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{30}{100}$$

$$Bn^* = Bn \times 100 \times n^* \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{n}{100}$$

$$Bn^* = Bn \times n^* \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$n$$

di mana, Bn merupakan B30 artinya n memiliki nilai 30. Sedangkan Bn^* adalah kebutuhan biodiesel berdasarkan program bauran biodiesel, artinya n^* merupakan bilangan asli 1 sampai 100 sesuai

dengan kebijakan mandatori pemerintah. Skenario bauran biodiesel yang digunakan dapat dilihat pada bagian skenario simulasi. Program bauran biodiesel adalah program pemerintah untuk mewajibkan pencampuran biodiesel dengan bahan bakar minyak jenis solar. Contohnya program B20 artinya program pemerintah untuk mewajibkan pencampuran 20% biodiesel dengan 80% bahan bakar minyak jenis solar.

3. Menghitung kebutuhan CPO untuk produksi biodiesel pada masing-masing skenario bauran biodiesel menggunakan rumus,

Permintaan CPO untuk Biofuel

$$= \frac{Bn * t}{\text{Volume biofuel yang diproduksi per 1 ton CPOt}} \quad (8)$$

Volume biodiesel yang diproduksi per 1 ton CPO diasumsikan sebesar 0,7565 ton (Thifal et al., 2023) dan asumsi 1 liter sama dengan 0,8 kg (Trihusodo, 2022).

Model Permintaan CPO untuk Pangan

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang digunakan untuk memproduksi pangan. Model proyeksi permintaan CPO untuk pangan menggunakan model matematis, dengan langkah-langkah proyeksi sebagai berikut:

1. Melakukan proyeksi kebutuhan pangan dari CPO (minyak goreng dari sawit) tahun 2023-2030, dengan rumus pada Persamaan 4.

Kebutuhan minyak goreng sawit = Jumlah penduduk × Konsumsi Minyak Goreng Sawit Perkapita (4)

Konsumsi minyak goreng sawit per kapita diasumsikan sebesar 19,95 kg/kapita/tahun, yang diperoleh dari rata-rata konsumsi per kapita minyak goreng tahun 2018-2022. Nilai konsumsi perkapita ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh PASPI (2021), di mana besarnya konsumsi pada 2020 sebesar 19,6 kg/kapita/tahun (PASPI, 2021).

Proyeksi jumlah penduduk sampai tahun 2045 yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proyeksi Badan Pusat Statistik.

2. Menghitung kebutuhan CPO untuk pangan dengan rumus pada Persamaan 10.

$$\text{Permintaan CPO untuk Pangan} = \frac{\text{Kebutuhan Minyak Goreng}}{\text{Volume minyak goreng yang diproduksi per 1 ton CPOt}} \quad (10)$$

Volume minyak goreng yang diproduksi per 1 ton CPO diasumsikan sebesar 683 kg dan 1 liter minyak goreng diasumsikan sama dengan 0,8 kg (Trihusodo, 2022).

Model Permintaan CPO untuk Oleokimia

Model proyeksi permintaan CPO untuk oleokimia hanya berdasarkan pada komposisi historis dari CPO untuk oleokimia terhadap CPO secara keseluruhan. Komposisi permintaan CPO untuk oleokimia sampai tahun 2045 diasumsikan sebesar 3,91% dari total produksi CPO, yang diperoleh dari rata-rata proporsi permintaan CPO untuk oleokimia tahun 2020-2022.

Model Permintaan CPO untuk Ekspor

Permintaan CPO untuk biodiesel merupakan jumlah CPO yang diekspor. Permintaan CPO untuk ekspor merupakan fungsi dari harga CPO global (Persamaan 11).

$$CPOE = f(HCPO) \quad (11)$$

Estimasi dan proyeksi permintaan CPO untuk ekspor sampai 2045 menggunakan error correction model dengan persamaan jangka panjang pada Persamaan 12.

$$LnCPOEt = \gamma_0 + \gamma_1 LnHCPOt + e_{2t} \dots\dots\dots (11)$$

dan persamaan jangka pendek sebagai berikut,

$$D(LnCPOEt) = \gamma_0 + \gamma_1 D(LnHCPOt) + \gamma_2 e_{2t-1} + v_{2t} \dots\dots\dots (11)$$

di mana, CPOE merupakan Permintaan CPO untuk Ekspor (ribu ton) dan HCPO adalah Harga CPO Dunia (USD/mt).

Data untuk membentuk model permintaan CPO untuk ekspor menggunakan data ekspor dari GAPKI (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia) sejak Januari 2020 sampai Oktober 2023 serta data harga CPO dunia bulanan dari Pink Sheet, Bank Dunia. Harga CPO dunia yang digunakan sebagai shock untuk memproyeksi permintaan CPO untuk ekspor diperoleh menggunakan metode *Holt Winters/Triple Exponential Smoothing/Error, Trend, Seasonality* seperti pada Persamaan 4. Untuk memproyeksi harga CPO bulanan untuk bulan November 2023 sampai Desember 2045, menggunakan data harga bulanan dari Januari 1960 sampai Oktober 2023 yang bersumber dari Pink Sheet, Bank Dunia.



TRACTION
ENERGY ASIA