**BAB I**

**PEMBAHASAN UMUM**

* 1. **Pendahuluan**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi disertai dengan kemajuan sektor industri menuntut semua negara mengembangkan sektor industrialisasi. Penggunaan *biofuel* sebagai bahan bakar penerbangan (*bioavtur*) masa depan berpotensi memiliki keberlanjutan yang baik (*sustainable*). Keberlanjutan produksi biofuel akan berakibat pada keberlanjutan usaha reduksi emisi CO2 sepanjang siklusnya (*carbon neutral cycle*). Biofuel diharapkan memberikan pengurangan dan antisipasi siklus emisi CO2 hingga 80% jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil (IATA, 2011).

Pertimbangan utama produksi *biofuel* khususnya *bioavtur* adalah ketersediaan bahan baku, biaya, dan keberlangsungannya (*sustainablility*). Total produksi CPO Indonesia pada tahun 2019 mencapai 48.417.847 ton dan akan terus bertambah seiring dengan perluasan lahan, pengembangan metode penanaman, dan kemajuan aplikasi teknologi pupuk. Kandungan Trigliserida dan Asam Lemak Bebas (FFA) dalam CPO sangat cocok diolah menjadi bioavtur sehingga Indonesia berpotensi memproduksi bioavtur sendiri dari bahan baku produk pertanian Indonesia yaitu CPO.

Pemerintah Indonesia menyadari potensi industri CPO sebagaimana terlihat di dalam dokumen Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025 yang dikeluarkan berdasarkan Peraturan Presiden No. 32 tahun 2011. Dokumen MP3EI menegaskan bahwa kelapa sawit merupakan produk yang akan dikembangkan pada Koridor Sumatera. Pemerintah membagi 4 bidang kegiatan kelapa sawit yaitu perkebunan, penggilingan, penyulingan dan industri hilir. Pabrik bioavtur ini adalah industri hilir dari industri kelapa sawit.

Dari aspek pertimbangan pasar, bioavtur termasuk dalam komoditas baru dengan kompetisi pasar yang relatif masih sedikit. Sebagai target proyeksi pemasaran, pasar bioavtur di Indonesia sangat terbuka lebar dikarenakan belum didirikannya pabrik bioavtur. PT Pertamina (persero) bersama Institut Teknologi Bandung (ITB) telah berhasil memproduksi bahan bakar campuran bioavtur, yakni mencampurkan 2,4% minyak inti sawit dengan menggunakan katalis “merah putih” buatan ITB dan telah sukses dilakukan uji terbang di pesawat CN235-220 FTB milik PT Dirgantara Indonesia di Hanggar 2 PT Garuda *Maintenance Facility* Aero Asia Tbk (GMF), Tanggerang pada tanggal 10 September 2021.

*The International Air Transport Association* (IATA), suatu organisasi yang mewakili 230 maskapai terbaik di dunia menyatakan bahwa pada tahun 2017 ditargetkan 10% (200 juta barel per tahun) persediaan avtur berasal dari sumber daya terbarukan. Beberapa maskapai ternama telah bekerja sama untuk pencapaian tujuan tersebut. Sebagai contoh, British Airways, SAS, Gulf Air, Cathay Pacific, Air New Zealand, Virgin Atlantic dan beberapa maskapai lain telah berkerja sama dalam satu grup bernama *Sustainable Airline Fuel Users Group* untuk peninjauan peluang bioavtur.

Sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) Nomor 7 ‘Energi Bersih dan Terjangkau’. Pabrik ini direncanakan didirikan diindonesia dengan tujuan berkontribusi dalam upaya penurunan emisi karbon. Tak hanya SDGs, di level nasional pengembangan bioavtur juga seleras dengan target Indonesia melalui Kementerian ESDM dalam mencapai bauran energi terbarukan sebesar 23% tahun 2025 sesuai Kebijakan Energi Nasional. Produk bioavtur akan dijual kepada pasar lokal di Indonesia, untuk 110 maskapai yang bahan bakarnya disuplai oleh Pertamina.

* 1. **Sejarah dan Perkembangan**

Penggunaan bioavtur sebagai bahan bakar pesawat jet dan pesawat terbang pertama kali dikembangkan di Fortaleza Brazil, pada periode 1980-1985. Uji pertama kali dilakukan pada pesawat yang terbang dari São José dos Campos menuju Brasília dengan menggunakan bioavtur murni (tanpa adanya tambahan avtur konvensional) yang disebut prosen. Pada kondisi yang sama, bila dibandingkan dengan avtur komersial konsumsi rata-rata dari bioavtur lebih besar 4.5% sampai 6.0% (Bauen, 2009).

Keberhasilan pengembangan teknologi bahan bakar berbasis nabati ini kemudian disusul dengan keberhasilan beberapa penerbangan lainnya adalah penerbangan pesawat Virgin Atlantics dari London menuju Amsterdam yang menggunakan campuran bioavtur sebanyak 20%. Pada saat itu, maskapai penerbangan yang mewakili lebih dari 15% industri membentuk Kelompok Pengguna Bahan Bakar Penerbangan Berkelanjutan, dengan dukungan dari NGOs seperti *Natural Resources Defense Council* dan *The Roundtable for Sustainable Biofuels*. Mereka berjanji untuk mengembangkan biofuel berkelanjutan untuk penerbangan. Tahun itu, Boeing menjadi co-chair dari Algal Biomass Organization, bergabung dengan maskapai penerbangan dan pengembang teknologi biofuel UOP LLC (Honeywell).

 Pada tahun 2009, IATA berkomitmen untuk mencapai pertumbuhan netral karbon pada tahun 2020, dan mengurangi separuh emisi karbon pada tahun 2050. Pada 2010, Boeing menargetkan 1% bahan bakar penerbangan global pada 2015. Korps Marinir AS AV-8B Harrier II uji penerbangan menggunakan campuran biofuel 50-50 pada Juni 2011, Spesifikasi yang direvisi untuk Bahan Bakar Turbin Penerbangan yang Mengandung Hidrokarbon Sintetis (ASTM D7566) memungkinkan maskapai penerbangan komersial untuk memadukan hingga 50% bioavtur dengan avtur konvensional. Keamanan dan kinerja bahan bakar jet yang digunakan dalam penerbangan penumpang disertifikasi oleh ASTM International. Biavtur disetujui untuk penggunaan komersial setelah tinjauan teknis multi-tahun dari pembuat pesawat, produsen mesin dan perusahaan minyak. Sejak itu, beberapa maskapai telah bereksperimen dengan menggunakan biofuel pada penerbangan komersial. Pada Juli 2020, telah diterbitkan tujuh lampiran untuk D7566, termasuk jenis biofuel : *Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK, 2009), Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HEFA-SPK, 2011), Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins (HFS-SIP, 2014), Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics (FT-SPK/A, 2015), Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosene (ATJ-SPK, 2016), Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Kerosene (CH-SK, or CHJ; 2020).*

Pada bulan Desember 2011, *Federal Aviation Administration* (FAA) memberikan US$7,7 juta kepada delapan perusahaan untuk mengembangkan bahan bakar berkelanjutan drop-in, terutama dari alkohol, gula, biomassa, dan bahan organik seperti minyak pirolisis, dalam program CAAFI dan CLEEN-nya. Dari tahun 2014, Solena berencana untuk mengubah setiap tahun 500.000ton limbah dari Kota London yang biasanya akan dibuang ke TPA menjadi bioavtur untuk digunakan dalam armada British Airways, tetapi mengajukan kebangkrutan pada tahun 2015. Pada tahun 2015, budidaya metil ester asam lemak dan alkenon dari alga, Isochrysis, diteliti sebagai bahan baku biofuel jet (Ron, 2008).

Pada tahun 2016, Thomas Brueck dari Munich TU memperkirakan bahwa algakultur dapat menyediakan 3-5% kebutuhan bahan bakar jet pada tahun 2050. Pada Musim Gugur 2016, untuk mencapai tujuan pengurangan emisinya, ICAO merencanakan berbagai tindakan termasuk pengembangan dan penyebaran bahan bakar penerbangan berkelanjutan. Lusinan perusahaan menerima ratusan juta modal ventura dari 2005 hingga 2012 untuk mengekstrak bahan bakar minyak dari alga, beberapa menjanjikan bahan bakar dengan harga bersaing pada 2012 dan produksi 1 miliar US gal (3,8 juta m3) pada 2012-2014. Pada tahun 2017, juga tidak tercapai dan sebagian besar perusahaan telah menghilang atau mengubah rencana bisnis mereka untuk fokus pada suplemen kosmetik, nutraceuticals, aditif makanan hewan, pakan ternak, pigmen dan minyak khusus (Patrick, 2008).

Pada tahun 2019, 0,1% bahan bakar adalah SAF. IATA mendukung penerapan bahan bakar Penerbangan Berkelanjutan, yang menargetkan pada 2019 untuk penetrasi 2% pada tahun 2025: 7 juta m3 (1,8 miliar gal AS). Pada saat itu, lebih dari 150.000 penerbangan telah menggunakan biofuel dan lima bandara memiliki distribusi biofuel reguler: Bergen, Brisbane, Los Angeles, Oslo dan Stockholm, dengan yang lain menawarkan pasokan sesekali. Pada tahun 2019, United Airlines membeli hingga 10 juta galon AS (38.000 m3) SAF dari World Energy selama dua tahun. Tahun itu, Virgin Australia telah memicu lebih dari 700 penerbangan dan terbang lebih dari satu juta kilometer, domestik dan internasional, menggunakan bahan bakar alkohol-ke-jet Gevo. Gevo berkomitmen untuk mengejar seluruh galon bahan bakar penerbangan berkelanjutan, yang berpotensi mengarah pada jejak karbon negatif. Virgin Atlantic bekerja untuk secara teratur menggunakan bahan bakar yang berasal dari gas buangan pabrik baja, dengan LanzaTech (Guy, 2019).

British Airways ingin mengubah limbah rumah tangga menjadi bahan bakar jet dengan Velocys. United Airlines berkomitmen untuk 900 juta US gal (3.400.000 m3) bahan bakar penerbangan berkelanjutan selama 10 tahun dari Fulcrum BioEnergy (untuk dibandingkan dengan 4,1 miliar US gal (16.000.000 m3) konsumsi bahan bakar pada tahun 2018), setelah investasi $30 juta pada tahun 2015, dan akan mengembangkan hingga lima pabrik biofuel di dekat pusatnya (Snijders, 2019).

Pada tahun 2020, Qantas akan mulai menggunakan campuran 50/50 biofuel SG Preston pada penerbangan Los Angeles-Australia, juga menyediakan bahan bakar yang berasal dari minyak nabati non-makanan ke JetBlue Airways selama 10 tahun. Di lokasinya di Singapura, Rotterdam dan Porvoo, Neste Finlandia adalah mengharapkan untuk meningkatkan kapasitas produksi bahan bakar terbarukan dari 2,7 menjadi 3,0 juta (6,0 hingga 6,6 miliar lb) per tahun pada tahun 2020, dan meningkatkan kapasitasnya di Singapura sebesar 1,3 juta t (2,9 miliar lb) untuk mencapai 4,5 juta t (9,9 miliar lb) pada tahun 2022 dengan menginvestasikan €1,4 miliar ($1,6 miliar) (Doliente, 2020).

Pada tahun 2020, International Airlines Group telah menginvestasikan $400 juta untuk mengubah limbah menjadi bahan bakar penerbangan berkelanjutan dengan Velocys. Pada awal tahun 2021, CEO Boeing Dave Calhoun mengatakan drop-in bahan bakar penerbangan berkelanjutan adalah "satu-satunya jawaban antara sekarang dan 2050" untuk mengurangi emisi karbon.

* 1. **Macam-macam proses pembuatan Bioavtur**
		1. ***Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (HEFA)**

Pada proses HEFA, bahan baku biomassa seperti alga, jatropha, atau carmelina diekstrak kandungan minyak didalamnya. Minyak hasil ekstraksi tersebut mengalami proses degumming dan bleaching sebagai tahap penyiapan bahan baku. Proses HEFA (Proses UOP) terdiri dari dua tahap reaksi yaitu reaksi *hydrotreating dan isomerization* / *selective hydrocracking* yang sering disebut sebagai proses hydroprossesing. Trigliserida dan gas hidrogen direaksikan pada tekanan 1.379–13.790 kPa temperatur 150–454oC menggunakan katalis NiMo/Al2O3 (McCall, 2011). Produk reaktor pertama merupakan rantai alkana panjang (n-parafin) berfase gas yang kemudian mengalami pemutusan rantai di reaktor kedua menghasilkan light gases, naptha, jet range paraffins, dan diesel dan dialirkan ke unit pemisahan.

* + 1. ***Biomass to Liquid* (BTL)**

Biomassa dikonversi menjadi gas CO, CO2, CH4, H2 melalui proses gasifikasi pada suhu 900oC - 1200oC pada tekanan atmosfer (Higman, 2008).

• Reaksi pembakaran

C + ½ O2 ⇄ CO -111 MJ/kmol

CO + ½ O= ⇄ CO2 -283 MJ/kmol

C + O2 ⇄ CO2 -394 MJ/kmol

• Reaksi Boudouard

C + CO2 ⇄ 2CO +172 MJ/kmol

• Reaksi *water gas shift*

C + H2O ⇄ CO + H2 +131 MJ/kmol

• Reaksi metanasi C + 2H2 ⇄ CH4 - 75 MJ/kmol

Gas produser hasil gasifikasi (penyusun utama: CO dan H2) dikonversi menjadi komponen tersebut kemudian dicairkan melalui proses Fischer- Tropsch (FT) pada suhu 200-250oC, tekanan 2500-6000 kPa dengan katalis berbasis Fe dan Co. sehingga dihasilkan wax. Hasil FT kemudian didistilasi hingga dihasilkan bioavtur

• Reaksi Fischer-Tropsch

CO + 2H2 🡺 -[CH2]- + H2O

* + 1. ***Alcohol to Jet* (ATJ)**

Proses ATJ merupakan salah satu sintesa bioavtur berbasis selulosa dan gulan menggunakan proses fermentasi. Selulosa dan gula tersebut dikonversi menjadi grup alkohol (C1-C6) dengan bantuan mikrobia, yeast, atau bakteri pada suhu 30 o C tekanan atmosfer selama 14 jam dengan yield 70%. Produk fermentasi mengalami reaksi dehidrasi pada fixed bed tubular reactor dengan bantuan ɤ-alumina pada suhu 310 o C menghasilkan n-alkena. Produk n-alkena dialirkan ke fixed bed continuous flow katalis ß zeolite CP 814C pada suhu 140 – 180 o C tekanan atmosfer. Keluaran reaktor oligomerisasi mengalami tahapan reaksi yang terakhir yaitu reaksi hidrogenasi pada suhu 150 O C tekanan 1.013,25 kPa dengan katalis Pd/alumina. (Gruber, 2012).

* + 1. **Pirolisis**

Biomassa mengalami proses pirolisis pada suhu 200-500 o C tekanan atmosferis menghasilkan arang, abu, pyrolysis oil. Produk pirolisis tersebut dialrkan ke rahap pemisahan sehingga menghasilkan bioavtur. I.4.2 Alasan Pemilihan Proses Dari empat proses pembuatan bioavtur dipilih proses *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* (HEFA) versi Proses UOP.

Kelebihan proses Proses UOP yaitu:

1. Teknologi sudah diterapkan (*establish*)
2. Menghasilkan produk samping hidrokarbon yang memiliki nilai ekonomi
3. Bahan baku fleksibel dengan produk yang konsisten
4. Proses ini dapat menggunakan CPO sebagai bahan baku. CPO mudah diperoleh serta keberlanjutannya terjamin.
	1. **Sifat-Sifat Fisika dan Kimia**

 Zat kimia memiliki karakteristik masing-masing yang membedakan suatu zat dengan zat lain, akan tetapi tidak sedikit pula zat-zat yang mempunyai persamaan sifat dengan zat lain sehingga dapat dimasukkan dalam satu golongan. Karakteristik zat ini akan menentukan bagaimana zat tersebut dapat dimanfaatkan.

 Sifat – sifat suatu zat dapat dibagi menjadi sifat fisika dan sifat kimia. Adapun sifat fisika dan kimia dari zat yang digunakan :

* + 1. **Bahan Baku**
1. ***Crude Palm Oil* (CPO)**

Sifat Fisika

Warna : Jingga kemerahan

Densitas : 900 kg/m (pada kondisi lingkungan)

Titik leleh : 21-24ºC

Titik didih : 369 ºC

Sifat Kimia

Bilangan iod : 50 – 55 g I/100 g minyak

Bilangan asam : 6,9 mg KOH/g minyak

Bilangan penyabunan : 224-249 mg KOH/g minyak

(Sumber : Krischenbauer. 1960)

|  |
| --- |
| **Tabel. 1.1.** Komposisi *Crude Palm Oil* (CPO) |
| **Komponen** | **Komposisi** |
| Trigliserida | 96,31% |
| *Free fatty acid* (FFA) | 3,00% |
| Gum (phospholipid, phospotide) | 0,04% |
| *Moisture* dan organik impurities (Karoten) | 0,15% |
| Logam | 0,50% |
| Sumber : Krischenbauer. 1960 |  |
| **Tabel. 1.2.** Kandungan Trigliserida |
| **Asam Lemak**  | **Rumus Kimia** | **Kandungan (%)**  |
| Asam Laurat  | C12H24O2 | 0,20% |
| Asam Miristat | C14H28O2 | 1,10% |
| Asam Palmitat  | C16H32O2 | 44,00% |
| Asam Stearat  | C18H36O2 | 4,50% |
| Asam Oleat  | C18H34O2 | 39,20% |
| Asam Linoleat  | C18H32O2 | 10,10% |
| Asam Arakidat | C20H40O2 | 0,90% |
| (Sumber : Kirschenbauer, 1960) |  |
| **Tabel. 1.3.** Kandungan Impuritis |
| **Komponen** | **Rumus Kimia** | **Kandungan (%)** |
| Phosphatidylcholine(1+) | C10H21NO8P+ | 0,0400% |
| Karoten | C40H56 | 0,1500% |
| Kalsium | Ca | 0,1667% |
| Magnesium | Mg | 0,1667% |
| Besi | Fe | 0,1667% |
| (Sumber : Kirschenbauer, 1960) |  |

1. **Hidrogen**

Wujud : Gas

Melting Point (oC) : -259.2

Temperatur Kritis (oC) : -250

*Boiling Point* (1 atm, oC) : -252.8

Densitas, 30oC (kg/m3) : 0.8130

Berat Molekul (mol/kg) : 2.016

Rumus Molekul : H2

(Perry, 2008).

1. **Larutan asam fosfat 85% (H3PO4)**

Titik Leleh : 10,31 °C

Titik Didih : 336,85 °C

Bersifat : Korosif

Fase : Cair

Warna : Tidak Berwarna

Tekanan uap (mmHg) : 146°C

Berat jenis cairan : 1,84 (100 persen)

Berat jenis uap : 3,4 (udara = 1)

Massa molekul relative : 98,079 gram/mol

(Perry, 2008).

* + 1. **Produk**
1. **Produk Utama**
2. **Bioavtur**

Sifat Fisika

Densitas pada 15 oC : 775 – 840 kg/m3

Viskositas pada -20 oC : maks. 8 cSt

*Flash point* : min. 38 oC

*Boiling range* : 150 – 300 oC

Sifat Kimia

- Campuran hidrokarbon dominan antara C9 – C16

- Dapat bereaksi dengan oksigen menghasilkan air dan karbondioksida

- Dapat bereaksi dengan oksigen secara spontan pada suhu 220 oC

(MSDS Jet A-1)

1. **Produk Samping**
2. **Biodiesel**

Sifat Fisika

Densitas pada 15 oC : 860 – 900 kg/m3

Viskositas pada -20 oC : 3,5 – 5 mm /s

*Flash point* : 130 oC

*Boiling range* : 150 – 300 oC

Sifat Kimia

- Campuran hidrokarbon dominan antara C9 – C25

- Dapat bereaksi dengan oksigen menghasilkan air dan karbondioksida

- Dapat bereaksi dengan oksigen secara spontan pada suhu >220 oC

(MSDS Diesel)

1. **Naphtha**

Sifat Fisika

Densitas pada 15 oC : 710 kg/m

Viskositas pada -20 oC : 10,64 – 0,88 mm /s

*Flash point* : 5,5 oC

*Boiling range* : 49 – 177 oC

Sifat Kimia

- Campuran hidrokarbon dominan antara C4 – C12

- Dapat bereaksi dengan oksigen menghasilkan air dan karbondioksida

- Dapat bereaksi dengan oksigen secara spontan pada suhu >250 oC

(MSDS Nafta)