

## Analisis Siklus Hidup Bioavtur dan Dampaknya terhadap Lingkungan: Jurnal Review

**Putri Azmi Millatie<sup>1</sup> Suyono Thamrin<sup>2</sup> Sri Murtiana<sup>3</sup> Lailatul Fajriyah<sup>4</sup>**

Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia<sup>1,2,3,4</sup>

Email: [millatie.putri@gmail.com](mailto:millatie.putri@gmail.com)<sup>1</sup> [suyonothamrin@gmail.com](mailto:suyonothamrin@gmail.com)<sup>2</sup> [anamurti13@gmail.com](mailto:anamurti13@gmail.com)<sup>3</sup>  
[lailafajriyah13@gmail.com](mailto:lailafajriyah13@gmail.com)<sup>4</sup>

### Abstrak

Indonesia memiliki potensi yang tinggi dalam bahan baku produksi bioavtur, karena sektor agrarisnya yang mumpuni dalam menyediakan sumber daya. Selain itu, sebagai negara kepulauan, Indonesia juga membutuhkan transportasi udara sebagai kendaraan utama yang cepat dan efisien mengingat Ibu Kota Negara juga akan berpindah ke Pulau Kalimantan. Namun, bahan bakar avtur hingga saat ini masih mengimpor dari negara lain. Maka untuk memenuhi kebutuhan avtur berbasis energi terbarukan dibutuhkan berbagai studi untuk memperoleh biomassa yang penggunaannya dapat dioptimalkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mereview jurnal-jurnal yang berkaitan dengan LCA dan bioavtur sehingga di masa depan, pengembangan bioavtur lebih efisien. Hasil dari literature review ini menyatakan bahwa diketahui secara general menyatakan bahan baku yang diproses menjadi bioavtur dapat mengurangi emisi GRK. Namun, tidak semua biomassa memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan biojet atau bioavtur karena berbagai kendala seperti penggunaan energi dalam proses produksi bioavtur yang terlalu tinggi, faktor lahan dan ekonomi yang tidak memadai, serta adanya persaingan penggunaan tanaman untuk ketahanan pangan. Selain itu, studi ini juga menjelaskan bahwa mikroalga dan limbah lemak adalah pilihan biomassa terbaik untuk dijadikan bahan baku produksi bioavtur maupun biojet karena selain memiliki persentase yang cukup tinggi terhadap penurunan emisi dan tidak bersaing dengan ketahanan pangan, produktivitasnya juga cukup tinggi sehingga dapat memaksimalkan produksi bioavtur.

**Kata Kunci:** Bioavtur, Biojet, Potensi Pemanasan Global, dan Siklus Hidup



This work is licensed under a [Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

### PENDAHULUAN

Bioavtur atau disebut *green* avtur merupakan bahan bakar penerbangan alternatif yang berasal dari sumber energi terbarukan, khususnya bahan hayati seperti minyak tumbuhan, alga, dan lemak hewani. Untuk menghasilkan bioavtur, bahan organik harus diubah dalam fase cair melalui konversi termokimia. Pemanfaatan bioavtur telah diatur berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2015 untuk menurunkan emisi karbon pada sektor penerbangan dengan mencampurkan biomaterial pada bahan bakar avtur (Ruswin dan Adirizky, 2022). Saat ini, produksi green avtur secara global cenderung sedikit dibandingkan dengan bahan bakar penerbangan mayoritas yaitu avtur dari bahan bakar fosil. Sesuai Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia tahun 2013 tentang rencana aksi nasional gas rumah kaca, pencampuran bioavtur ke dalam bahan bakar konvensional sekitar 2% pada tahun 2016, lalu meningkat sekitar 3% pada tahun 2020, dan menjadi 5% bioavtur yang akan dicampurkan pada tahun 2025 (EBTKE, 2021).

Berdasarkan laporan dari Asosiasi Transportasi Udara Internasional (IATA) yang menyebutkan bahwa pada tahun 2017 penggunaan avtur yang berasal dari sumber energi terbarukan ditargetkan mencapai 10% atau setara dengan 200 juta barel per tahun. Sedangkan di Indonesia, pengembangan bioavtur masih berupa campuran 2,4% yang dicampur dengan avtur murni. Pengembangan bioavtur di Indonesia juga diolah melalui teknologi *co-processing*

yang diterapkan di Pertamina Kilang Cilacap Unit IV. Namun sayangnya masih belum bisa maksimal karena infrastruktur produksi yang belum lengkap (ESDM, 2022). Padahal, jika pengembangan *green* avtur dapat terlaksana dengan baik, maka hasil produksinya akan membantu memenuhi kebutuhan avtur, mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan dengan transportasi udara sebagai pilihan utama (Sasongko et.al, 2018), khususnya dalam proses pembangunan Ibu Kota Negara baru di Nusantara, Kalimantan Timur.

Meskipun bioavtur dapat diproduksi tidak hanya dengan menggunakan bahan baku minyak nabati tetapi juga lemak hewani, namun sebagai negara agraris, Indonesia mempunyai potensi yang sangat tinggi untuk dapat memanfaatkan berbagai tanaman khusus yang dapat menghasilkan minyak nabati atau dengan mengolah hasil bioavtur, seperti limbah pertaniannya. Tentu hal ini tidak hanya dapat membantu pasokan bahan bakar pada sektor penerbangan saja, namun banyak manfaat yang bisa diperoleh karena bioavtur dapat membantu membersihkan dan melumasi mesin (Widayatno et.al, 2016). Selain itu, jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil konvensional, penggunaan bioavtur memiliki banyak keunggulan yang berdampak terhadap lingkungan karena penggunaan bioavtur dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan dapat mengurangi polusi udara yang diakibatkannya, mengingat bioavtur cenderung memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah. Jika hal ini dapat dioptimalkan tentu dapat membantu pencapaian target bauran energi yang telah direncanakan, yakni sesuai dengan peraturan Menteri ESDM nomor 12 tahun 2015 tentang kewajiban pencampuran bahan bakar nabati (biofuel) ke dalam bahan bakar jenis avtur sebesar 3% pada tahun 2020 dan 5% pada tahun 2025 (ESDM, 2021).

## **METODE PENELITIAN**

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode tinjauan pustaka, yaitu dengan mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber tertulis. Data yang diolah dalam penelitian ini berasal dari lima jurnal yang membahas tentang LCA (Life Cycle Analyze) Bioavtur atau Biojet dan dampaknya terhadap lingkungan. Berikut lima jurnal yang akan direview:

1. Hydrocarbon bio-jet fuel from bioconversion of poplar biomass: life cycle assessment
2. Life-Cycle Assessment of Bio-Jet Fuel Production from Waste Cooking Oil via Hydroconversion
3. Global warming potential analysis of bio-jet fuel based on life cycle assessment
4. Environmental and techno-economic analyses of bio-jet fuel produced from jatropha and castor oilseeds in China
5. Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components

Kelima jurnal tersebut kemudian dianalisis mengenai temuan, metode, dan konsep yang digunakan untuk kemudian disintesiskan informasinya sesuai sumber yang relevan sebelum disusun menjadi sebuah laporan. Berikut perbandingan kelima jurnal tersebut yang dapat dirangkum.

Nomor	Penulis	Judul	Metode	Hasil
1	Erik Budsberg, Jordan T. Crawford, Hannah Morgan, Wei Shan	Bahan bakar bio-jet hidrokarbon dari biokonversi biomassa poplar: penilaian siklus hidup	Penelitian laboratorium dengan fermentasi baru yang mengubah biomassa poplar menjadi biojet serta menggunakan LCA untuk	GWP <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biorefinery sumber terbesar gas rumah kaca</li> <li>• Penggunaan biojet terbesar kedua</li> <li>• Semua emisi co2 dari biorefinery dan biojet bersumber dari biogenik yang diimbangi co2</li> </ul>

	Chin, Renata Bura dan Rick Gustafson		menentukan potensi dampak lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertumbuhan dan pemanenan poplar berkontribusi besar terhadap GWP</li> <li>• Penggunaan lahan langsung menyumbang GWP CO<sub>2</sub> eq dari 12 g MJy<sup>-1</sup> untuk setiap simulasi.</li> <li>• Proses terkait produksi pupuk nitrogen menghasilkan GWP CO<sub>2</sub> eq dari 5 g MJy<sup>-1</sup></li> <li>• Transportasi, pembelian listrik, kredit produksi berpengaruh kecil</li> <li>• GRK dari biorefinery mayoritas CO<sub>2</sub></li> <li>• Sumber biogenik terbesar yakni pembakaran biomassa</li> <li>• Pada kategori bahan kimia tambahan, penyumbang terbesar adalah metode produksi bahan bakar biojet</li> </ul> <p>Nilai FFU (penggunaan BBM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggunakan 85-97% BBM</li> <li>• FFU dalam transportasi, pertumbuhan dan pemanenan poplar, serta listrik yang dibeli lebih kecil dibandingkan bahan kimia tambahan</li> <li>• Penggunaan bahan bakar fosil terbesar berasal dari produksi enzim dan penggunaan gas alam untuk produksi hidrogen</li> </ul> <p>Diskusi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keempat jalur biojet jika dibandingkan dengan BBM memiliki GWP dan FFU lebih rendah</li> <li>• Metode produksi hidrogen berpengaruh terhadap perbedaan GWP dan FFU</li> </ul>
2	zong wei zhang, Keheng Wei, Junqili dan Zihan Wang	Penilaian Siklus Hidup Produksi Bahan Bakar Bio- Jet dari Minyak Goreng Limbah melalui Hidrokonversi	Menggunakan metode perhitungan LCA dari pasokan bahan baku, produksi hingga penggunaan biojet	<p>GWP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Setiap bahan baku memiliki karakteristik unik yang akan mempengaruhi proses hidrogenasi dan koefisien partisi dan pada akhirnya akan berdampak pada konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca.</li> <li>• Konsumsi energi batu bara adalah setengah atau sepertiga dari gas alam atau minyak mentah karena teknologi perolehan dan pengolahannya yang lebih matang dan sederhana</li> <li>• Minyak kedelai, biofuel generasi pertama , memiliki konsumsi energi yang rendah karena teknologi tanam kedelai yang matang dan luas areal tanam</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsumsi energi minyak camelina dan jarak pagar, keduanya bahan baku biofuel generasi kedua, jauh lebih tinggi daripada minyak kedelai (masing-masing 1,6 dan 2,4 kali ), yang terkait dengan rendemennya yang rendah (camelina) dan penggunaan dalam jumlah besar . pupuk (jarak pagar)</li> <li>• Konsumsi energi minyak mikroalga 35% lebih tinggi dibandingkan minyak kedelai karena konsumsi energi yang lebih tinggi selama tahap penanaman dan pengepresan.</li> </ul> <p>FFU</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsumsi energi terendah di tahap produksi BBM basis minyak bumi</li> <li>• Tertinggi dari batubara karena proses sintesis yang kompleks</li> <li>• </li> </ul> <p>Diskusi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsumsi energi bioavtur dari WCO 70,7% lebih tinggi dibanding avtur konvensional namun emisinya lebih rendah 63,7 %</li> </ul> <p>Proporsi GRK disebabkan WCO memiliki 18,7% hidrogen</p>
3	Xiao Nan Zhu, Juni Xiao, Chenguang Wang, Lingjun Zhu dan Shurong Wang	Analisis potensi pemanasan global bahan bakar bio-jet berdasarkan penilaian siklus hidup	Metode yang digunakan yakni penerapan LCA dengan standar seri ISO14040 dengan 4 langkah penilaian dampak lingkungan. Sistem LCA dibatasi meliputi pertanian dan pengumpulan biomassa, perlakuan awal hingga produksi, dan penggunaan. Data diolah melalui OpenLCA	<p>GWP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GWP dari 3 biojet berkurang 38,9 s/d 65,2% dari BBM</li> <li>• Pengurangan GWP dapat dibatasi dengan budidaya dan pengumpulan sumber daya biomassa</li> <li>• GWP biojet signifikan memiliki keuntungan dibandingkan dengan BBM</li> <li>• GWP ketiga jalur teknis biojet sangat sensitif terhadap hasil konversi</li> </ul> <p>FFU</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada masukan daya menggunakan green energy dapat mengurangi emisi GRK biojet dibandingkan avtur konvensional.</li> </ul> <p>Diskusi</p> <p>Pengembangan bahan bakar biojet terkendala oleh faktor ekonomi dan SDA</p>
4	Haoyu Liu, Chen Zhang, Hailin Tian, Lanyu Li, Xiaonan Wang & Tong Qiu	Analisis lingkungan dan tekno-ekonomi bahan bakar bio-jet yang dihasilkan dari biji jarak dan minyak jarak di Tiongkok	Metode yang digunakan adalah analisis LCA pada tanaman jarak yang digunakan sebagai bahan baku biojet dengan analisis skenario dan analisis tekno-ekonomi	<p>GWP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggunaan biojet mengurangi dampak lingkungan 36-85% dibanding BBM</li> <li>• GWP yang dihasilkan melalui proses steam methane reforming dapat dikurangi sebesar 16–17%, dengan menggunakan kemajuan dalam proses teknologi. Bahan bakar bio-jet dari jarak dan biji minyak jarak</li> </ul>

				menawarkan manfaat lingkungan yang potensial jika mereka dapat mengurangi bahan bakar jet fosil dengan basis energi yang setara.
5	Stephen S. Doliente , Aravind Narayan, John Frederick D. Tapia, Nouri J. Samsatli , Yingru Zhao & Sheila Samsatli	Bahan Bakar Bio-penerbangan: Tinjauan Komprehensif dan Analisis Komponen Rantai Pasokan	Metode yang digunakan yakni penerapan LCA dengan standar seri ISO14040 :2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggunaan minyak alga melalui HEFA diketahui memiliki potensi penghematan emisi GRK tertinggi dengan rata-rata 98% relatif terhadap sumber fosil</li> <li>• Dalam jangka pendek hingga menengah, bahan baku kaya minyak berbiaya rendah dan hasil tinggi dapat menjadi solusi transisi yang efektif.</li> <li>• Konsekuensi lingkungan negatif dari tanaman berbasis lahan, seperti kelapa sawit dan jarak pagar, dapat membatasi penerapannya, sementara ketidakpastian dan variabilitas aliran limbah seperti minyak jelantah dan limbah padat kota dapat membatasi kontribusinya.</li> <li>• Potensi besar mikroalga sebagai bahan baku, karena hasil yang lebih tinggi dari tanaman penghasil minyak, masih harus dibuktikan secara ekonomis dalam jangka panjang.</li> <li>• Berbagai bahan baku akan dibutuhkan untuk memastikan keamanan, ketersediaan, dan keberlanjutan bahan bakar bio-penerbangan. bahwa bahan baku berbasis non-pangan, seperti limbah lemak dan jarak, akan lebih cocok daripada tanaman biji minyak konvensional, seperti minyak sawit dan rapeseed.</li> </ul>

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Perbandingan Penurunan Emisi Biojet dan Bahan Bakar Penerbangan

Berdasarkan kelima jurnal yang diamati, biojet atau bioavtur dalam kontribusinya sebagai pengganti bahan bakar fosil sektor penerbangan secara umum menunjukkan pengurangan jumlah emisi potensi dari global warming. Pada jurnal milik Budsberd et.al, diketahui sebagai sumber kedua terbesar penghasil gas rumah kaca setelah teknologi biorefinery. Sedangkan Zhang et.al, Zhu et.al dan Liu et.al sepakat bahwa penggunaan biojet sebagai pengganti avtur konvensional dapat mengurangi dampak lingkungan dengan persentase yang cukup tinggi yakni masing-masing 63,7%; 38,9 hingga 65,2%; dan 36 hingga 85%. Hal ini juga dipertegas oleh hasil penelitian Doliente et.al yang menyatakan bahwa potensi penghematan emisi dapat ditekan hingga 98% dari perbandingannya dengan sumber energi fosil melalui pemanfaatan minyak alga dengan jalur HEFA. Tentunya hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan biojet sebagai alternatif bahan bakar sektor penerbangan patut untuk dioptimalkan terutama sebagai salah satu faktor penting dalam tercapainya bauran energi dengan tingkat emisi yang berkurang.

## Biojet sebagai Sumber Energi Alternatif yang Layak

Penggunaan energi biomassa yang diteliti di masing-masing jurnal menunjukkan potensi biojet sebagai bahan bakar alternatif yang memiliki tingkat emisi yang rendah jika dibandingkan dengan avtur konvensional. Namun, hal ini bukan menjadi indikasi satu-satunya dalam penilaian bahwa semua sumber bahan baku biojet mampu dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Dalam analisis daur hidup yang telah dilakukan oleh kelima peneliti terdapat berbagai kendala dalam pengembangan bahan bakar biojet. Periset pertama yakni Budsberd et.al menyatakan bahwa dalam LCA miliknya, penanaman hingga pemanenan biomassa poplar memiliki kontribusi besar terhadap potensi efek rumah kaca dimana dalam perawatannya membutuhkan pupuk nitrogen yang turut menyumbang gas CO<sub>2</sub> eq dari 5 g MJy<sup>-1</sup> serta membutuhkan lahan langsung yang meningkatkan gas CO<sub>2</sub> eq dari 12 g MJy<sup>-1</sup> untuk GWP. Selain itu, penambahan untuk bahan kimia biojet pada penelitian ini justru memiliki andil besar terhadap Potensi Global Warming pada metode produksi bahan bakar biojet. Penggunaan biomassa poplar ini juga menyumbang penggunaan bahan bakar fosil terbesar saat memproduksi enzim dan hidrogen.

Selain itu, Zhu et.al menyatakan bahwa dalam pengembangan bahan bakar biojet, faktor ekonomi dan sumber daya alam yang digunakan sebagai bahan baku biofuel khususnya biojet menjadi kendala yang cukup berarti. Dalam penelitiannya tersebut, menyatakan bahwa pengurangan Global Warming Potensial sebagai indikator LCA dapat dibatasi dengan adanya budidaya dan pengumpulan sumberdaya biomassa serta akan lebih optimal jika nilai bahan bakar yang digunakan menggunakan masukan daya dari green energy. Untuk mewujudkan itu semua, hal ini tentunya membutuhkan modal yang tidak sedikit, sehingga jelas bahwa kendala ekonomi sangat berpengaruh terhadap produksi biojet ini.

Namun pada penelitian Zhang et.al ditemukan bahwa beberapa objek penelitian yaitu minyak kedelai, minyak camelina dan jarak pagar cenderung memiliki konsumsi energi yang rendah dengan urutan terendah dari minyak kedelai dan tertinggi dari jarak pagar. Perbandingan ketiganya dapat dilihat dari besarnya rendemen minyak camelina yang 1,6 kali lipat dari minyak kedelai dan penggunaan pupuk dari jarak pagar hingga 2,4 kali lipat dari minyak kedelai. Senada dengan penelitian Zhang et.al , Liu et.al dalam penelitiannya juga mengungkapkan bahwa produksi biojet dari minyak jarak dan minyak biji jarak mempunyai potensi yang cukup besar terhadap lingkungan.

Penelitian pada jurnal kelima yaitu jurnal milik Doliente et.al yang hasilnya menjelaskan bahwa minyak alga mampu menghemat emisi GRK hingga 98% menegaskan bahwa mikroalga mempunyai potensi besar untuk dijadikan bahan baku produksi biojet karena memiliki keunggulan yaitu bahan baku lainnya tidak dimiliki. khususnya dengan sumber daya alam berbasis penggunaan lahan seperti kelapa sawit dan jarak pagar. Hal ini didukung oleh penelitian Anggraini et.al (2018) yang menyatakan bahwa mikroalga laut *Nannochloropsis* sp memiliki kandungan lipid 35 hingga 68% yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku bioavtur/biojet. Selain itu, penggunaan bahan baku non pangan seperti mikroalga, limbah lemak dan jarak pagar juga perlu diperhatikan dalam pengelolaan bahan baku biojet.

## Potensi Bioavtur untuk Pertumbuhan Ekonomi

Dalam pengaruhnya terhadap bahan bakar alternatif berbasis biomassa, bioavtur sendiri memiliki dua aspek utama yaitu manfaat bagi lingkungan dan manfaat bagi perekonomian. Jika pemanfaatan bioavtur mampu menurunkan emisi GRK, maka secara ekonomi bioavtur mampu mempengaruhi perkembangan industri energi khususnya bioenergi sebagai salah satu penopang perekonomian negara. Selain mampu menekan impor bahan bakar avtur, pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku bioavtur juga dapat membantu pertumbuhan ekonomi.

Potensi mikroalga sebagai biomassa non pangan dijelaskan oleh Anggraini dkk, bahwa mikroalga mempunyai asumsi produktivitas sebesar 24.489 KL/Ha/tahun yang mampu memenuhi kebutuhan bioavtur sebesar 2% di NTT yaitu sebesar 1.052,22 KL/tahun dengan luas lahan budidaya seluas 2,14 ha membuka peluang besar bagi perekonomian negara. Pencampuran 2% bioavtur dari mikroalga bila dicampur dengan Jet A akan menghasilkan biojet yang dapat digunakan untuk angkutan udara milik negara atau dieksport ke pihak luar negeri. Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan oleh Doliente et.al juga diketahui bahwa limbah lemak mempunyai potensi yang cukup baik, dan yang terpenting pemanfaatannya tidak berdampak langsung terhadap ketahanan pangan.

## KESIMPULAN

Dalam lima penelitian terkait LCA dan bioavtur yang telah dianalisis , meskipun diketahui secara umum bioavtur dapat menurunkan emisi GRK. Namun tidak semua biomassa berpotensi digunakan sebagai bahan baku produksi biojet atau bioavtur karena berbagai kendala seperti penggunaan energi dalam proses produksi bioavtur yang terlalu tinggi, lahan dan faktor ekonomi yang tidak memadai, serta persaingan penggunaan tanaman untuk ketahanan pangan. Selain itu, penelitian ini juga menjelaskan bahwa mikroalga dan limbah lemak merupakan pilihan biomassa terbaik untuk dijadikan bahan baku produksi bioavtur dan biojet karena selain memiliki persentase penurunan emisi yang relatif tinggi dan tidak bersaing dengan ketahanan pangan, produktivitasnya juga cukup baik. juga cukup tinggi sehingga dapat memaksimalkan produksi bioavtur .

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, R. C. P. K., Sasongko, N. A., & Kuntjoro, Y. D. (2018). Preliminary study on the location selection of microalgae cultivation in Nusa Tenggara region as a potential feedstock for bioavtur. In E3S Web of Conferences (Vol. 31, p. 02013). EDP Sciences.
- Budsberg, E., Crawford, J. T., Morgan, H., Chin, W. S., Bura, R., & Gustafson, R. (2016). Hydrocarbon bio-jet fuel from bioconversion of poplar biomass: life cycle assessment. Biotechnology for biofuels, 9(1), 1-13.
- Doliente, S. S., Narayan, A., Tapia, J. F. D., Samsatli, N. J., Zhao, Y., & Samsatli, S. (2020). Bio-aviation fuel: a comprehensive review and analysis of the supply chain components. Frontiers in energy research, 8, 110.
- EBTKE. 2021. Sumbang Emisi 2%, Bioavtur Jadi Solusi Penurunan Emisi Sektor Transportasi Udara. Diakses pada 21 Maret 2023 melalui [ebtke.esdm.go.id](http://ebtke.esdm.go.id)
- EBTKE. 2022. Rencana Strategis Pengembangan Bahan Bakar Nabati Menuju NZE. Diakses pada 21 Maret 2023 melalui [ebtke.esdm.go.id](http://ebtke.esdm.go.id)
- ESDM. 2021. Keberhasilan Uji Terbang Pesawat Berbahan Bakar Bioavtur, Langkah Strategis Pemanfaatan Energi Terbarukan di Sektor Transportasi Udara. Diakses pada 21 Maret 2023 melalui [esdm.go.id](http://esdm.go.id)
- Liu, H., Zhang, C., Tian, H., Li, L., Wang, X., & Qiu, T. (2021). Environmental and techno-economic analyses of bio-jet fuel produced from jatropha and castor oilseeds in China. The International Journal of Life Cycle Assessment, 26, 1071-1084.
- RUSWIN, N. D., & ADIRIZKY, A. (2022). Prarancangan Pabrik Bioavtur Dari Cpo Kapasitas 5.213. 000 Kiloliter/Tahun.
- Sasongko, N. A., Marini, A. T., & Chrisnanto, F. X. Study of Bio-Jet Fuel Resources Potential Development as Alternative Sources of Air Fuel Supply in Indonesia.
- Widayatno, R. L., & Abidin, Z. (2016). Analysis Bioavtur for Energy Security. Jurnal Pertahanan: Media Informasi ttg Kajian & Strategi Pertahanan yang Mengedepankan Identity, Nasionalism & Integrity, 2(3), 243-256.

Zhang, Z., Wei, K., Li, J., & Wang, Z. (2022). Life-Cycle Assessment of Bio-Jet Fuel Production from Waste Cooking Oil via Hydroconversion. *Energies*, 15(18), 6612.

Zhu, X., Xiao, J., Wang, C., Zhu, L., & Wang, S. (2022). Global warming potential analysis of bio-jet fuel based on life cycle assessment. *Carbon Neutrality*, 1(1), 25.