

GREEN DIESEL: BAHAN BAKAR CAIR TERBARUKAN PENGANTI BIODIESEL

Fidelia Helga Yudhistira, Agung Ari Wibowo

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
fideliahelga@gmail.com ; [agung.ari@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil hingga saat ini masih meningkat. Hal ini dikhawatirkan akan menyebabkan kelangkaan dan ketersediaannya di lapangan semakin menipis. Untuk itu, perlu adanya sebuah inovasi yaitu produksi energi alternatif. *Green diesel* adalah solusi untuk mengatasi kebutuhan bahan bakar diesel yang terus meningkat. *Green diesel* juga sering disebut sebagai *biofuel* yang dianggap sebagai diesel terbarukan yang berasal dari minyak nabati. Diesel jenis ini memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan diesel yang memiliki bahan baku dari fosil karena ramah lingkungan dan tidak menimbulkan akumulasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer. Saat ini terdapat beberapa proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan *green diesel* seperti: *hydroprocess* trigliserida dan pirolisis bahan lignoselulosa yang berasal dari bahan yang mengandung karbohidrat. Pada setiap proses dibahas kondisi operasi untuk hasil produksi maksimum. Selain itu penggunaan katalis yang sesuai juga mempengaruhi hasil produksi. Artikel ini bertujuan untuk membahas tentang *green diesel* serta teknik produksi yang digunakan. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, didapatkan bahwa tidak semua teknologi produksi menggunakan bahan serta katalis yang sama. Perlu adanya pertimbangan pemilihan teknologi produksi sesuai dengan tujuan dan penerapannya.

Kata kunci: *biomassa, energi terbarukan, green diesel, teknologi produksi*

ABSTRACT

The consumption of fossil fuels continues to rise. It is feared that this will lead to a reduction in scarcity and availability in the field. As a result, an innovation in the form of alternative energy production is required. Green diesel is a viable option for meeting the rising demand for diesel fuel. Green diesel is also known as biofuel, and it is a renewable diesel that is made from vegetable oil. When compared to diesel made from fossil fuels, this type of diesel has various advantages, including being environmentally benign and not accumulating carbon dioxide (CO) in the atmosphere. Green diesel can already be produced via a variety of techniques, including triglycerides and pyrolysis of lignocellulosic materials obtained from carbohydrates-containing materials. The operating conditions for maximum production are explained in each step. Furthermore, the choice of a suitable catalyst has an impact on the final product. The purpose of this article is to explore green diesel and the methods used to produce it. According to the literature review, not all manufacturing technologies use the same ingredients and catalysts. It is vital to evaluate the purpose and application of production technology while making a decision.

Keywords: *biomass, renewable energy, green diesel, production technologies*

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Jauh sebelum manusia mengenal bahan bakar yang berasal dari fosil, manusia menggunakan biomassa sebagai sumber energi dalam kehidupan sehari-hari. Namun seiring berkembangnya jaman, penggunaan biomassa mulai teralihkan dengan adanya gas bumi, batu bara, dan

minyak sebagai penghasil tenaga. Hal ini memicu terjadinya sebuah krisis energi karena penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkat dan dapat mengancam ketersediaan sumber energi. Maka dari hal ini perlu diciptakan sebuah sumber energi baru dan terbarukan sehingga dapat mengurangi dampak buruk terhadap sumber energi berbahan bakar fosil tersebut. Energi biomassa dapat meliputi bioetanol, biogas, dan biodiesel. Bahan tersebut cukup banyak diminati di kalangan internasional karena mampu mengurangi kadar CO₂ di dalam atmosfer [1,2].

Alasan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif adalah memiliki beberapa keunggulan, antara lain: (1) memiliki kandungan karbon yang rendah sehingga dapat menjadi alternatif untuk minyak pemanas; (2) memiliki sifat yang ramah lingkungan karena dapat terdegradasi dengan baik dan tidak beracun; (3) dapat digunakan dalam mesin pembakaran dan tidak merubah struktur internal mesin [3]. Biodiesel adalah bahan bakar yang diproduksi menggunakan proses transesterifikasi atau suatu proses esterifikasi dengan katalis dan alkohol [4]. Transesterifikasi adalah suatu metode banyak digunakan untuk produksi biodiesel dari minyak nabati. Reaksi organik transesterifikasi adalah reaksi *reversible* bertahap dari trigliserida (lemak/minyak) dengan alkohol membentuk ester dan gliserol. Akseptor dari reaksi transesterifikasi dapat berupa asam karboksilat [5,6].

Green diesel merupakan *biofuel* generasi baru yang akrab dikenal sebagai diesel terbarukan. Selain itu *green diesel* juga merupakan fraksi hidrokarbon rantai lurus mirip dengan solar dan berasal dari reaksi hidrogenasi trigliserida [7]. Diesel jenis ini memiliki kualitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan diesel serupa pada penggunaan mesin pembakaran. *Green diesel* berbeda dengan diesel pada umumnya secara komersial karena *biofuel* sebelumnya dapat digunakan pada kendaraan konvensional dengan kemurnian 100%, akan tetapi kekurangannya adalah dapat merusak mesin. Namun pada *green diesel* dapat menjadi solusi pilihan biodiesel karena rendah emisi [8]. Bahan baku dari *green diesel* berasal dari minyak nabati karena merupakan *substrat* yang cocok untuk produksi *biofuel* hidrokarbon yang mirip dengan minyak bumi [9,10].

Green diesel berasal dari produk biologis sehingga tidak memiliki dampak bagi lingkungan. Akumulasi karbon dioksida (CO₂) dapat berkurang di atmosfer, serta memberikan pembakaran yang lebih bersih. Selain itu, *green diesel* dikatakan lebih stabil, dan tidak korosif dibandingkan dengan diesel dari bahan baku fosil karena mengandung oksigen. *Green diesel* dengan menggunakan proses *hydroprocess* trigliserida memiliki *propane* sebagai produk samping. Hal tersebut membuat *green diesel* dianggap lebih ekonomis dan menarik perhatian dunia [11,12].

2. PEMBAHASAN

2.1 Bahan Baku Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Bahan baku biomassa berasal dari tumbuhan seperti: kayu, umbi, tanaman, rumput laut dan kotoran hewan, ikan, biji-bijian, dan kacang-kacangan. Biomassa dari sumber ini terdiri dari karbohidrat [13]. Beberapa jenis *biofuel* menurut jenisnya adalah sebagai berikut: (1) Trigliserida

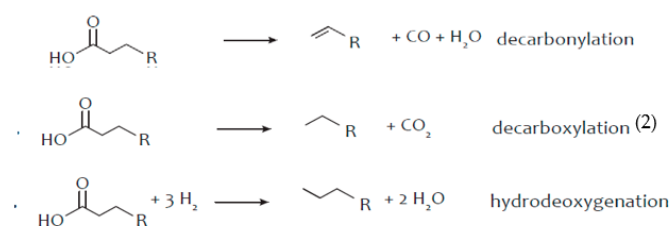
Trigliserida adalah gliserol yang berikatan ester dengan asam trigliserida, dimana 3 posisi gliserol berikatan ester dengan asam lemak rantai menengah [14]. Contoh bahan yang mengandung *trigliserida* yang cocok untuk pembuatan *green diesel* adalah mikroalga. Mikroalga adalah fotosintesis prokariotik atau eukariotik yang dapat tumbuh cepat dengan struktur uniseluler/multiseluler yang sederhana. Banyak penelitian yang mengemukakan bahwa mikroalga adalah produk biomassa yang memiliki banyak keuntungan yaitu dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan dan memiliki tingkat pertumbuhan dan produksi yang lebih tinggi [15].

(2) Lignoselulosa

Penggunaan bahan non pangan seperti lignoselulosa banyak diminati karena jumlahnya yang melimpah [16]. Kegunaan lignoselulosa sebagai produksi bahan *biofuel* dengan menggunakan beberapa teknik produksi yaitu pirolisis termal dan gasifikasi termokimia. Namun kekurangan dalam menggunakan bahan yang mengandung lignoselulosa adalah melalui proses fermentasi dan *pretreatment* karena untuk mengubah karbohidrat menjadi gula perlu dilakukan proses hidrolisis untuk menghasilkan lignin. Hal ini yang menjadikan konversi biomassa lignoselulosa memerlukan proses *pretreatment* lignin [17,18,19].

2.2 Hydroprocess oleh Trigliserida

Reaksi yang terjadi pada *hydroprocess* dapat dikategorikan dalam 2 jenis yaitu *hydro-treating* dan *hydrocracking*. *Hydrotreating* disebut juga sebagai *hydrofining* yang berfungsi meningkatkan kualitas tanpa merubah titik didih. *Hydrotreating* terjadi pada logam katalis seperti Ni-Mo/Al₂O₃ [20]. *Hydroprocess* terjadi saturasi ikatan rangkap rantai asam lemak oleh hidrogen (hidrogenasi) dan penghilangan oksigen dari molekul trigliserida sehingga dapat menjadi hidrokarbon jenuh. Reaksi pelepasan oksigen dari trigliserida atau biasa disebut reaksi deoksigenasi selektif dibagi menjadi 3 reaksi yaitu dekarbonilasi, dekarboksilasi, dan hidrudeoksigenasi. Berikut merupakan rumus kimia dari ketiga reaksi tersebut.



Gambar 1. Reaksi Deoksigenasi

dalam reaksi dekarboksilasi dan dekarbonilasi memiliki perbedaan, yaitu pada pelepasan oksigen, reaksi dekarbonilasi molekul O₂ dihilangkan dalam bentuk CO dan H₂O, sedangkan pada reaksi dekarboksilasi molekul O₂ dihilangkan dalam bentuk CO₂, sehingga pada *hydroprocess* hidrokarbon jenuh yang dihasilkan memiliki atom C yang hampir sama dengan rantai asam lemak trigliserida [21,22].

Deoksigenasi trigliserida yang menghasilkan *green diesel* merupakan hidrokarbon jenuh yang memiliki *cetane number* yang mengindikasikan kualitas pembakaran pada

mesin dan titik beku yang tinggi. Terdapat cara untuk meningkatkan *cetane number* yaitu dengan cara hidroisomerisasi dari hidrokarbon jenuh menjadi isomer bercabang. Proses isomerisasi mengubah struktur molekul sehingga berat molekul menjadi sama. Hidroisomerisasi berlangsung dengan cara dehidrogenasinya menjadi atom alkena yang sama dan dilanjutkan dengan isomerisasi kerangka alkena dan yang terakhir menjadi hidrokarbon jenuh isomer bercabang. Namun hal ini dapat diperoleh jika menggunakan katalis asam [23,24].

Pada *hydroprocess* trigliserida, katalis yang sering digunakan adalah Ni-Mo/Al₂O₃, Co-Mo, dan Pt dan biasanya dilakukan pada suhu 300-370°C dan tekanan 2-10 Mpa [25]. Katalis logam dan katalis bebas sulfur pada reaksi deoksigenasi telah menjadi perhatian karena reaktivitasnya yang tinggi pada suhu ringan. Selain itu katalis Ni, Co, Pt, dan Pd yang berasal dari Al₂O₃, yang memiliki aktivitas katalik tertinggi adalah Co. Oleh sebab itu, Co dapat mendorong reaksi hidredeoksigenasi [9,26,27].

Menurut [28], katalis diberikan dalam proses pengolahan minyak jelantah dengan proses hidredeoksigenasi dengan tujuan meningkatkan selektivitas dan laju reaksi. Katalis yang digunakan adalah NiMo/ γ -Al₂O₃ dengan promotor K dan P yang memiliki fungsi menetralisasi asam dan mereduksi *coke*.

Jika membandingkan antara ketiga reaksi deoksigenasi, yang lebih banyak dalam konsumsi hidrogen adalah HDO atau biasa disebut hidredeoksigenasi, dibandingkan dengan deCO (dekarbonilasi) dan deCO₂ (dekarboksilasi). Hal inilah yang menyebabkan reaksi dekarbonilasi dan dekarboksilasi lebih banyak diminati meskipun memiliki kekurangan yaitu kehilangan banyak CO dan CO₂ [29]. Selain itu, pada HDO (hidredeoksigenasi) dengan menggunakan katalis logam tersulfida dapat mencemari produk karena mengandung belerang. Jika kandungan belerang cukup tinggi, maka membutuhkan H₂ yang tinggi. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan katalis deoksigenasi yang terbebas dari belerang sangat penting [30].

2.3 Konversi Termal Biomassa dari Lignoselulosa

Metode pengolahan biomassa menggunakan konversi termal dapat meliputi pirolisis (transformasi katalitik) [30]. Pirolisis adalah proses dekomposisi termal biomassa menjadi molekul dengan ukuran lebih kecil baik dalam bentuk cair, padat, dan gas tanpa bantuan oksigen. Hasil dari pirolisis adalah *bio-oil* yang memiliki banyak sekali manfaat [31]. Produk bawah dari pirolisis adalah *biochar* (arang hitam) berbentuk padatan halus. Produk atas adalah *syngas* (H₂+CO) dan *bio-oil* berbentuk cair dengan warna kecoklatan. Selain (H₂+CO), pirolisis *syngas* juga mengandung CO₂, H₂O, N₂ dan CH₄, C₂H₄, dan C₂H₆. *Bio-oil* yang berasal dari bahan baku yang mengandung lignoselulosa mengandung molekul organik yang teroksidasi seperti karbohidrat, alkohol, asam organik, dan oligomer turunan lignin [32]. Bahan lignoselulosa terdiri dari biopolimer yaitu yang terdiri dari jenis sel, dan dinding sel yang berasal dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Contoh bahan baku yang mengandung lignoselulosa yang dapat digunakan untuk pembuatan *bio-oil* dengan proses pirolisis adalah kayu, jerami, ampas tebu [33].

Bio-oil yang akan diproses menjadi *green diesel* memiliki perbedaan dengan bahan bakar dari minyak bumi, seperti kandungan air pada *bio-oil* lebih tinggi dari proses pirolisis

melalui dehidrasi selulosa dan hemiselulosa [34]. Karakteristik *bio-oil* yaitu memiliki viskositas tinggi, nilai kalor rendah, pH rendah, dan kandungan air yang tinggi memiliki pengaruh buruk terhadap kualitas mesin dan dekomposisi karbon dalam mesin. Hal inilah yang mendasari *bio-oil* harus diproses kembali dengan menggunakan beberapa metode seperti: (1) *hydrotreating*; (2) perengkahan uap dengan katalitis *zeolite*; (3) melalui gasifikasi menjadi *syngas* dan sintesis Fischer-Tropsch menjadi *green diesel* [35]. Berikut merupakan penjelasan dari ketiga metode tersebut:

(1) *Hydrotreating*

Bahan baku yang akan digunakan dalam proses pirolisis terlebih dahulu melalui proses pencucian dan *pretreatment* dan dilakukan penyesuaian ukuran. Suhu pengolahan berpengaruh pada pemanasan yang akan dilakukan. Proses pemanasan terbagi menjadi 3 yaitu pemanasan lambat, cepat, dan kilat. Namun pada proses *hydrotreating* digunakan pemanasan secara kilat dengan suhu 500°C selama 1 detik [36]. Produk yang dihasilkan dalam proses pirolisis kilat ini adalah *biochar* (35%), *syngas* (H₂+CO) (35%), dan uap *bio-oil* (30%). Setelah *bio-oil* keluar dari reaktor akan langsung dialirkan menuju kondensor dan dilakukan proses kondensasi dari uap *bio-oil* menjadi *bio-oil* cair. Hasil dari proses kondensasi ini sebesar 75% dengan warna *bio-oil* kecoklatan. Kemudian dilakukan proses *hydrotreating* dengan bantuan *hydrogen* dan dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu *hydrotreating* ringan dan berat. Pada *hydrotreating* ringan dengan suhu sekitar 240°C dan 170 bar digunakan katalis seperti Ni-Mo/Al₂O₃ dan Ni-Mo/Al₂O₃ yang berfungsi menstabilkan dan menghidrogenisasi senyawa karbonil dan fenolik yang ada dalam *bio-oil* dan efisiensinya dalam desulfurisasi distilat minyak bumi [37]. Sedangkan pada *hydrotreating* berat dilakukan pada suhu 370 °C dan 140 bar dan terjadi deoksigenasi *bio-oil* dari campuran hidrokarbon jenuh yang kemudian dilakukan distilasi dan menghasilkan *green naphtha*, *green jet fuel*, dan *green diesel* [36].

(2) Perengkahan Uap dengan Katalitis *Zeolite*

Bio-oil yang akan diubah menjadi *green diesel* melalui perengkahan uap dengan katalis *zeolite* digunakan dengan cara mengubah molekul fraksi berat dan titik didihnya. Proses ini dilakukan dengan metode *catalytic cracking* karena dinilai lebih tinggi dalam menghasilkan nilai oktan. Katalis yang biasa digunakan dalam peningkatan *bio-oil* melalui perengkahan uap dengan katalitis *zeolite* adalah HZSM-5. Alasan digunakannya katalis ini karena menghasilkan *yield* yang tinggi dari minyak bumi dan propilena [38].

(3) Gasifikasi

Pada proses gasifikasi terjadi reaksi eksotermal yang mengubah bahan baku biomassa menjadi *syngas* (H₂ dan CO). *Syngas* merupakan salah satu hasil dari proses pirolisis selain *bio-oil* dan *biochar*. Meskipun pirolisis dapat dioptimalkan untuk produksi *syngas*, gasifikasi biomassa dianggap sebagai salah satu cara yang lebih baik karena memberikan hasil *syngas* yang lebih tinggi. Suhu pada proses gasifikasi sangat tinggi dan metana menjadi produk samping dengan jumlah yang signifikan. Suhu dan tekanan umum yang digunakan adalah 1250°C pada 25-80 bar untuk mengoptimalkan campuran yang kaya akan CO dan H₂ pada *syngas* [39]. *Syngas* yang memiliki banyak kandungan CO dan H₂ berguna untuk sintesis bahan kimia dan bahan bakar yang digunakan untuk proses Fischer-Tropsch. Reaksi ini menggunakan gasifikasi produksi bahan bakar cair dari *syngas* melalui sintesis Fischer-

Tropsch. Sintesis ini merupakan reaksi polimerisasi permukaan yang sangat eksotermik yang mengubah CO dan H₂ menjadi hidrokarbon jenuh dan tak jenuh. CO dan H₂ diserap pada permukaan katalis dan membentuk unit monomer seperti CH₂ yang pada akhirnya menghasilkan minyak mentah campuran hidrokarbon jenuh, alkohol, dan karbonil [39]. Terdapat dua teknologi dari sintesis Fischer-Tropsch, yaitu pada suhu tinggi (300-350°C) dan pada suhu rendah (200-240°C). pada suhu tinggi menggunakan katalis Fe menghasilkan bensin, dan alkena C₃-C₆ yang yang dapat diubah menjadi *green diesel* melalui oligomerisasi alkena, hasil *green diesel* maksimum adalah 40% dengan *cetane number* 50. Sedangkan untuk suhu rendah digunakan katalis Fe atau Co dan menghasilkan hidrokarbon kisaran *diesel* berkualitas tinggi dan dilakukan *hydrocracking* menjadi hidrokarbon jenuh (*green diesel*) [40]. *Hydrocracking* menggabungkan antara proses *catalytic cracking* dan hidrogenasi. *Catalytic cracking* menggunakan katalis seperti SiO₂-Al₂O₃ dan logam hidrogenasi yang sesuai seperti Pt dan Co-Mo tersulfida, Ni-Mo atau Ni-W (41). Fischer-Tropsch dengan menggunakan suhu rendah dapat menghasilkan *green diesel* sebesar 80% dan *cetane number* 75 [40].

3. KESIMPULAN

Ketersediaan biomassa sebagai sumber bahan bakar tentu memiliki ketersediaan yang cukup melimpah dan tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan serta memiliki nilai ekonomis. Selain itu dampak positif lainnya adalah biomassa memiliki sifat yang dapat diperbarui (*renewable*) seperti tanaman, pepohonan, rumput, ubi, dan lain sebagainya, sehingga penyediaan sumber energi memiliki kesinambungan (*suitable*). *Green diesel* adalah solusi untuk penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan karena hasil pembakaran yang lebih bersih. Selain itu *green diesel* memiliki peluang yang tinggi dibandingkan dengan *diesel* berbahan fosil atau *fatty acid* karena memiliki *cetane number* yang tinggi dan kandungan sulfur yang lebih rendah. *Green diesel* menjadi sorotan di kalangan dunia sebagai bahan alternatif untuk pemanfaatan bahan bakar nabati yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil. *Hydroprocess* dengan trigliserida dipilih sebagai teknologi yang paling umum digunakan untuk menghasilkan *green diesel*. Namun beberapa hal harus diperhatikan seperti kondisi operasi dan katalis yang digunakan harus optimal.

REFERENSI

- [1] L. Parinduri dan T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *JET (Journal Electr. Technol)*, vol. 5, no. 2, hal. 88–92, 2020.
- [2] A. S. Pramudiyanto dan S. W. A. Suedy, "Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, hal. 92–105, 2020.
- [3] H. Hadrah, M. Kasman, dan F. M. Sari, "Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi," *J. Daur Lingkung*, vol. 1, no. 1, hal. 16, 2018.
- [4] Monisha J , Harish A , Sushma R , Krishna Murthy T P, Blessy B Mathew, "*Biodiesel : A Review*," *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 3, no. 1, hal. 902–912, 2014.

- [5] N. Suleman, Abas, dan M. Paputungan, "Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel," *J. Tek*, vol. 17, no. 1, hal. 66–77, 2019.
- [6] A. E. Ghaly, D. Dave, M. S. Brooks, and S. Budge, "Production of biodiesel by enzymatic transesterification: Review," *Am. J. Biochem. Biotechnol*, vol. 6, no. 2, hal. 54–76, 2010.
- [7] Y. Kussuryani and A. R. S. Ali, "Teknologi Produksi Green Diesel untuk Pembuatan Bahan Bakar Minyak Alternatif," *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 44, no. 1, hal. 32–38, 2022.
- [8] T. N. Kalnes *et al.*, "Green diesel production by hydrorefining renewable feedstocks," *Greenea*, vol. 2, no. 4, hal. 1–3, 2015.
- [9] A. Afshar Taromi and S. Kaliaguine, "Green diesel production via continuous hydrotreatment of triglycerides over mesostructured γ -alumina supported NiMo/CoMo catalysts," *Fuel Process. Techno*, vol. 171, no. 1, hal. 20–30, 2018.
- [10] G. Di Vito Nolfi, K. Gallucci, and L. Rossi, "Green diesel production by catalytic hydrodeoxygenation of vegetables oils," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 24, 2021.
- [11] E. Kordouli, L. Sygellou, C. Kordulis, K. Bourikas, and A. Lycourghiotis, "Probing the synergistic ratio of the NiMo/ γ -Al₂O₃ reduced catalysts for the transformation of natural triglycerides into green diesel," *Appl. Catal. B Environ*, vol. 209, hal. 12–22, 2017.
- [12] P. A. Cremones, J. G. Teleken, and T. Weiser Meier, "Potential of Green Diesel to Complement the Brazilian Energy Production: A Review," *Energy and Fuels*, vol. 35, no. 1, hal. 176–186, 2021.
- [13] A. L. Marshall and P. J. Alaimo, "Useful products from complex starting materials: Common chemicals from biomass feedstocks," *Chem. - A Eur. J*, vol. 16, no. 17, hal. 4970–4980, 2010.
- [14] N. Arpi, "Profil Medium Chain Fatty Acids (MCFA) Dan Sifat Kimia Minyak Kelapa (Virgin Coconut Oil / VCO, Minyak Simplah , Pliek U, Klentik , dan Kopra) Dibandingkan dengan Minyak Sawit," *Sagu*, vol. 12, no. 2, hal. 23–31, 2013.
- [15] T. M. Mata, A. A. Martins, and N. S. Caetano, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 14, no. 1, hal. 217–232, 2010.
- [16] M. R. Hidayat, "Teknologi Pretreatment Bahan Lignoselulosa," *Biopropal Ind*, vol. 4, no. 1, hal. 33–48, 2013.
- [17] P. Harmsen, W. Huijgen, L. López, and R. Bakker, "Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass," *Food Biobased Res.*, no. January, hal.1–49, 2010,
- [18] A. Matsutani, T. Harada, S. Ozaki, and T. Takaoka, "Inhibitory effects of combination of CDDP and cepharanthin on the cultured cells from rat ascites hepatoma," *Science and Technology Information Site for Articles, Patents, Research Information*, vol. 28, no. 3. 1993.
- [19] A. K. Kumar and S. Sharma, "Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review," *Bioresour. Bioprocess*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [20] R. Sotelo-Boyas, F. Trejo-Zarraga, and F. de Jesus Hernandez-Loyo, "Hydroconversion of Triglycerides into Green Liquid Fuels," *Intech Open Science*, vol. 10, hal. 1-30, 2012.

- [21] K. E. Leon, A. M. Fruin, S. L. Nowotarski, and J. R. DiAngelo, "The regulation of triglyceride storage by ornithine decarboxylase (*Odc1*) in *Drosophila*," *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 523, no. 2, hal. 429–433, 2020.
- [22] S. K. Kim, S. Brand, H. S. Lee, Y. Kim, and J. Kim, "Production of renewable diesel by hydrotreatment of soybean oil: Effect of reaction parameters," *Chem. Eng. J.*, vol. 228, hal. 114–123, 2013.
- [23] M. Stumborg, A. Wong, and E. Hogan, "Hydroprocessed vegetable oils for diesel fuel improvement," *Bioresour. Technol.*, vol. 56, no. 1, hal. 13–18, 1996.
- [24] T.M. Sankaranarayanan, M. Banu, A. Pandurangan, and S. Sivasanker, "Hydroprocessing of sunflower oil-gas oil blends over sulfided Ni-Mo-Al-zeolite beta composites," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 22, hal. 10717–10723, 2011.
- [25] D. Kochetkova, J. Blažek, P. Šimáček, M. Staš, and Z. Beňo, "Influence of rapeseed oil hydrotreating on hydrogenation activity of CoMo catalyst," *Fuel Process. Technol.*, vol. 142, hal. 319–325, 2016.
- [26] A. Srifia, K. Faungnawakij, V. Itthibenchapong, and S. Assabumrungrat, "Roles of monometallic catalysts in hydrodeoxygenation of palm oil to green diesel," *Chem. Eng. J.*, vol. 278, hal. 249–258, 2015.
- [27] D. Kubička, J. Horáček, M. Setnička, R. Bulánek, A. Zukal, and I. Kubičková, "Effect of support-active phase interactions on the catalyst activity and selectivity in deoxygenation of triglycerides," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 145, hal. 101–107, 2014.
- [28] I. Rusnadi, J. M. Amin, A. Zikri, R. Sabatini, and P. N. Sriwijaya, "Penggunaan Katalis NiMo / Al₂O₃ Pada Proses Hydrotreating Minyak Jelantah Menjadi Green Diesel Jurusan Teknik Kimia program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi , *The Use Of NiMo / Al₂O₃ Catalysts In The Hydrotreating Process Cooking Oil Into G,*" *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 1, no. 12, hal. 465–474, 2021.
- [29] C. Kordulis, K. Bourikas, M. Gousi, E. Kordouli, and A. Lycourghiotis, "Development of nickel based catalysts for the transformation of natural triglycerides and related compounds into green diesel: A critical review," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 181, hal. 156–196, 2016.
- [30] K. Murata, Y. Liu, M. Inaba, and I. Takahara, "Production of synthetic diesel by hydrotreatment of *Jatropha* oils using Pt-Re/H-ZSM-5 catalyst," *Energy and Fuels*, vol. 24, no. 4, hal. 2404–2409, 2010.
- [31] F. Luis and G. Moncayo, "Konversi Termal Kayu Ketapang (*Terminalia Catappa* L.) Menjadi *Bio-Oil* Dengan Teknologi Pirolisis Menggunakan Katalis Nimo/NZA," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, vol. 2, no. 1 hal. 1-8, 2015.
- [32] J. Sarkar and S. Bhattacharyya, "Application of graphene and graphene-based materials in clean energy-related devices Minghui," *Arch. Thermodyn.*, vol. 33, no. 4, hal. 23–40, 2012.
- [33] D. Meier and O. Faix, "State of the art of applied fast pyrolysis of lignocellulosic materials - A review," *Bioresour. Technol.*, vol. 68, no. 1, hal. 71–77, 1999.
- [34] S. Czernik and A. V. Bridgwater, "Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil," *Energy and Fuels*, vol. 18, no. 2, hal. 590–598, 2004.
- [35] J. Wildschut, F. H. Mahfud, R. H. Venderbosch, and H. J. Heeres, "Hydrotreatment of

- Fast Pyrolysis Oil Using Heterogeneous Noble-Metal Catalysts*” *Ind. Eng. Chem*, vol. 48, hal. 10324–10334, 2009.
- [36] D. C. Elliott, “*Transportation fuels from biomass via fast pyrolysis and hydroprocessing*,” *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ*, vol. 2, no. 5, hal. 525–533, 2013.
- [37] H. Wang, D. C. Elliott, R. J. French, S. Deutch, and K. Iisa, “*Biomass conversion to produce hydrocarbon liquid fuel via hot-vapor filtered fast pyrolysis and catalytic hydrotreating*,” *J. Vis. Exp*, vol. 2016, no. 118, hal. 1–13, 2016.
- [38] A. V. Bridgwater, “*Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 38, hal. 68–94, 2012.
- [39] S. S. Ail and S. Dasappa, “*Biomass to liquid transportation fuel via Fischer Tropsch synthesis - Technology review and current scenario*,” *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 58, hal. 267–286, 2016.
- [40] A. De Klerk, F. R. Catalysis, S. Africa, S. Africa, and E. Section, “*Thermal Cracking of Fischer - Tropsch Waxes*,” *Ind. Eng. Chem*, vol. 46, hal. 5516–5521, 2007.