



Produksi *green diesel* dari *crude palm oil* melalui proses *hydrotreating* dengan katalis Ni/Bentonite

AHMAD ZIKRI, SAHRUL EFFENDY, DIFA SYAKILA MARETHA, NADYA SHIRA SURASTRI, DAN NEZA SYAFITRI*

Program Studi D4 Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan 30862, Indonesia

<p>Kata kunci: green diesel, crude palm oil, katalis Nikel/Bentonit, hydrotreating</p>	<p>ABSTRAK: Ketergantungan dunia terhadap energi fosil telah menimbulkan berbagai permasalahan serius, seperti krisis energi, polusi, dan perubahan iklim. Untuk mengatasi masalah ini, transisi menuju energi baru dan terbarukan menjadi semakin mendesak. Indonesia, sebagai negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia, memiliki potensi besar untuk mengembangkan green diesel sebagai alternatif bahan bakar fosil. Green diesel, yang dihasilkan dari minyak sawit melalui proses hidrogenasi, memiliki kualitas yang setara dengan solar konvensional dan lebih ramah lingkungan. Dengan mengembangkan green diesel, Indonesia tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil, tetapi juga berkontribusi dalam upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Green diesel diproduksi dengan mereaksikan molekul hidrogen pada molekul trigliserida, yang merupakan komponen utama dalam minyak nabati dan dibantu dengan katalis untuk mempercepat reaksi. Pada penelitian ini didapatkan, Hasil uji menunjukkan bahwa sampel biohidrokarbon memiliki densitas 780,8 kg/m³, viskositas kinematik 2,24 cSt, titik nyala 64°C, cetane number 75,1, nilai kalor 42,91 MJ/kg, dan berwarna kuning jernih. Semua parameter ini sesuai dengan standar EN 15940 untuk bahan bakar diesel. Cetane number yang tinggi mengindikasikan potensi pembakaran yang baik dan emisi yang rendah, sedangkan nilai kalor yang cukup tinggi menjamin ketersediaan energi yang memadai. Densitas dan viskositas yang sesuai memastikan aliran bahan bakar yang baik dalam sistem bahan bakar kendaraan. Titik nyala yang tinggi menjamin keamanan dalam penanganan dan penyimpanan.</p>
<p>Keywords: green diesel, crude palm oil, catalyst Nikel/Bentonit, hydrotreating</p>	<p>ABSTRACT: The world's dependence on fossil fuels has led to serious problems, such as the energy crisis, pollution and climate change. To address these issues, the transition to new and renewable energy is becoming increasingly urgent. Indonesia, as the world's largest palm oil producer, has great potential to develop green diesel as an alternative to fossil fuels. Green diesel, which is produced from palm oil through a hydrogenation process, has the same quality as conventional diesel and is more environmentally friendly. By developing green diesel, Indonesia can not only reduce dependence on fossil fuel imports, but also contribute to global efforts to address climate change. Green diesel is produced by reacting hydrogen molecules to triglyceride molecules, which are the main components in vegetable oil and assisted by a catalyst to accelerate the reaction. The test results show that the biohydrocarbon sample has a density of 780.8 kg/m³, kinematic viscosity of 2.24 cSt, flash point of 64°C, cetane number of 75.1, calorific value of 42.91 MJ/kg, and clear yellow color. All these parameters comply with EN 15940 standard for diesel fuel. A high cetane number indicates good combustion potential and low emissions, while a sufficiently high heating value ensures adequate energy availability. Suitable density and viscosity ensure good flow of the material.</p>

1 PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan energi, berkurangnya sumber daya minyak bumi dan timbulnya masalah polusi hal tersebut disebabkan oleh penggunaan bahan bakar berbasis minyak bumi. Bahan bakar minyak berasal dari minyak bumi (*crude oil*) yang tidak dapat terbaharui, sedangkan konsumsi bahan bakar setiap tahunnya semakin

meningkat sehingga cadangan minyak di lapisan kulit bumi semakin berkurang. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus menyebabkan permasalahan pemanasan global dengan meningkatnya konsentrasi CO₂ di dalam udara. Untuk itu peralihan penggunaan energi fosil menuju Energi Baru dan Terbarukan (EBT) merupakan sesuatu yang mutlak untuk dilakukan. Namun dilansir dari Direktorat Jendral Energi Terbarukan dan Kon-

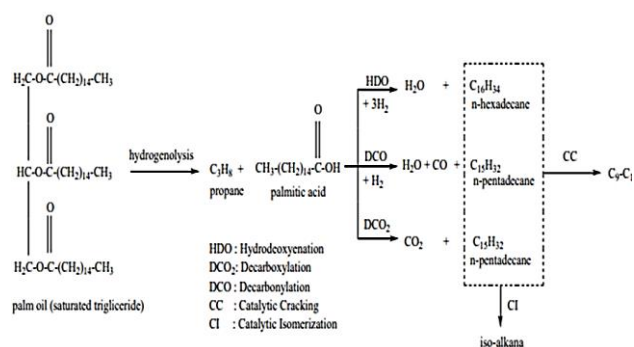
* Corresponding Author: nezasyafitri31@gmail.com

servasi Energi (2020), Indonesia memiliki kapasitas sumber energi sebesar 70,96 Gigawatt (GW), dari kapasitas energi tersebut 35,36% dari batubara, 19,36% dari gas bumi, 34,38% dan minyak bumi dan EBT hanya sebesar 10,9%. Untuk itu Pemerintah Indonesia mengembangkan energi alternatif yang berbasis terbarukan untuk menggantikan Energi Fosil. Saat ini, telah berlangsung program untuk merealisasikan Bahan Bakar B35 yang merupakan campuran solar dan *fatty acid methyl ester* (FAME). Setelah merealisasikan program bahan bakar B35, pemerintah juga akan mendorong pengembangan *green fuel* berbasis sawit yang diharapkan dapat menghasilkan *Green Diesel*, *green gasoline*, dan *green jet autur*.

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. Diesel jenis ini memiliki kualitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan diesel serupa pada penggunaan mesin pembakaran. Pembuatan *Green Diesel* yang tidak menghasilkan limbah, sangat efisien secara proses, semua produk dari reaksi antara minyak nabati dan hidrogen merupakan produk yang dapat langsung digunakan. Reaksi pembuatan *Green Diesel* adalah reaksi hidrogenasi pada suhu dan tekanan tinggi. Hidrogen sebagai salah satu bahan baku *Green Diesel* adalah bahan yang mudah terbakar dan dapat terbakar sendiri pada suhu 500°C [1]. Salah satu minyak nabati yang ketersediaannya berlimpah dan sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif adalah minyak sawit atau Crude Palm Oil (CPO) [2]. *Crude palm oil* (CPO) adalah salah satu jenis minyak nabati yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat dunia, yakni sekitar 40% dari seluruh jenis minyak nabati. Bahan bakar diesel hijau atau *green diesel* yang merupakan bahan bakar diesel yang dihasilkan dari bahan baku nabati. Teknologi pengubah minyak nabati dan asam lemak menjadi *green diesel* umumnya menggunakan metode hydrotreating katalitik yang dapat menghasilkan *green diesel* yang setara dengan solar [3].

Hydrotreating adalah proses kimia yang melibatkan katalis (katalitik) dengan bantuan hidrogen untuk menghasilkan kualitas hidrokarbon jenuh dengan menghilangkan sulfur, nitrogen, oksigen, dan logam. *Hydrotreating* adalah proses kimia yang kompleks yang melibatkan berbagai reaksi terjadi pada saat yang sama dalam satu sistem (reaksi simultan). Reaksi reaksi ini dapat saling bergantung satu

sama lain, dimana produk dari suatu reaksi dapat menjadi reaktan untuk reaksi lainnya [3-2].



Gambar 1. Jalur Reaksi yang terjadi pada proses hydrotreating crude palm oil [3]

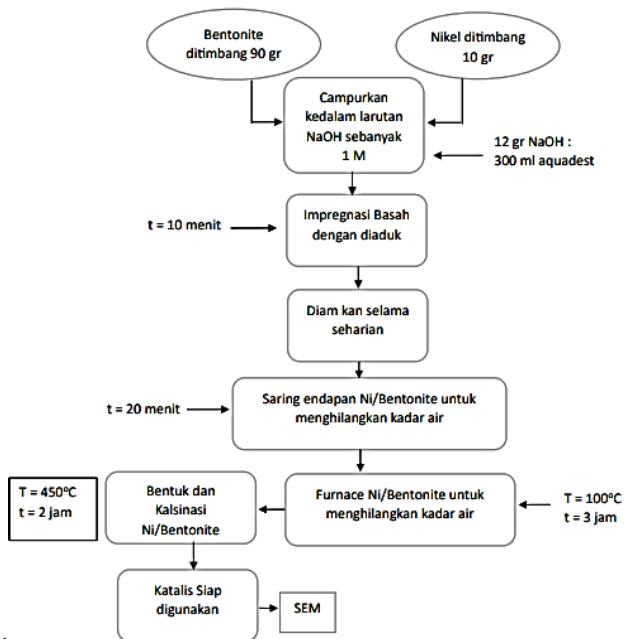
Proses hydrotreating umumnya dilakukan dalam reaktor dengan suhu tinggi (300-450°C) dan tekanan tinggi dan dialirkan hidrogen ke reaktor bersama dengan bahan baku [4]. Proses hydrotreating melibatkan penggunaan katalis heterogen, seperti Ni-Mo, Co-Mo, Pt, Pd dan zeolit, dengan katalis yang memiliki densitas asam tinggi lebih diminati karena kemampuannya untuk menghilangkan oksigen melalui pembelahan C-O dari asam lemak, membantu mempercepat reaksi dan meningkatkan efisiensi baku [4]. Katalis adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi dan mampu mengubah laju reaksi. Dalam banyak studi mekanisme, katalis terlibat langsung dalam reaksi sintesis namun pada akhir reaksi senyawa katalis akan diregenerasi kembali dan fungsi katalis sendiri adalah dapat mempercepat reaksi [5] Katalis yang berfungsi sebagai zat pengikat, yaitu logam-logam seperti Pt, Cr, dan Ni. Katalis yang digunakan dalam proses produksi *green diesel* ini adalah nikel (Ni) yang akan dimodifikasi dengan katalis Bentonite. Katalis (Ni) memainkan peran penting dalam proses pembuatan *green diesel*. Katalis ini digunakan dalam reaksi hydrotreating yang merupakan salah satu langkah kunci dalam konversi minyak nabati menjadi *green diesel* di mana Ni merupakan logam aktif yang berperan dalam pemutusan dan pembentukan ikatan dalam molekul bahan baku. Penggunaan katalis Ni dalam hydrotreating dapat mempengaruhi beberapa parameter penting dalam produksi *green diesel*, seperti yield produk, selektivitas dan sintesis katalis [6]. Nikel termasuk dalam logam transisi dan bersifat keras dan elastis. Nikel sebagai logam transisi karena memiliki resistensi terhadap tingginya. temperatur operasi karena reaksi yang digunakan adalah reaksi hidrogenasi yang mana reaksi ini merupakan reaksi eksoterm [7]. Sedangkan Bentonit atau clay merupakan istilah yang digunakan untuk lempung yang mengandung mineral montmorillonite. Mineral ini

merupakan golongan alumino silikat memiliki lapisan hidro dengan ukuran partikel yang lebih dari 2 mm dan kurang dari 4 mm. Menurut penelitian sebelumnya jenis dan sifat bentonite sesuai standar yaitu Bentonite dengan luas permukaan 100-200 m²/g, volume pori 0,3-0,6 cm³/g, dan keasaman yang memadai [8].

2 DATA DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan April - Juli 2024 di Laboratorium Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Penelitian pembuatan *Green Diesel* menggunakan unit *Hydrotreating* dengan bahan yang digunakan adalah *Crude Palm Oil*, hidrogen dan katalis Ni/bentonite teraktivasi 3%.

Metode yang digunakan dalam pembuatan *Green Diesel* ini merupakan metode *hydrotreating*. Dengan variabel sebagai berikut; Volume Bahan Baku 3 liter, Temperatur Feed Tank 500 °C, Temperatur Reaktor 340 °C, Tekanan Proses Hydrotreating 20 bar, katalis 90 gram Ni/Bentonite Teraktivasi 3%, dan Tekanan Hidrogen yang diinjeksikan sebanyak 4 Bar.

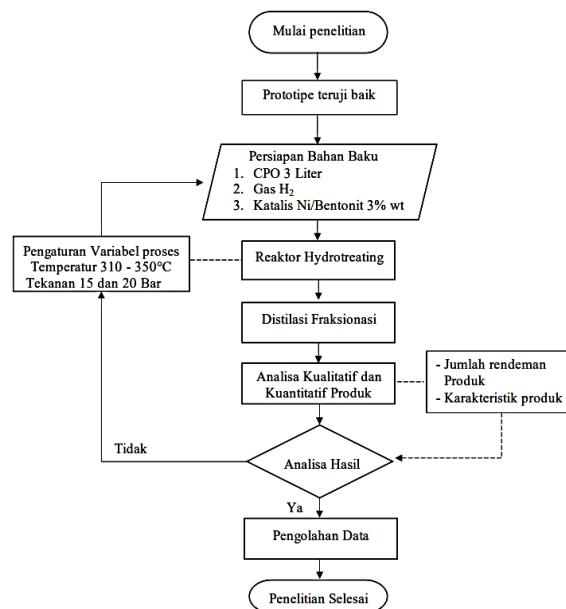


Gambar 2. Sintesis Katalis Nikel/Bentonite

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian produksi bahan bakar *green diesel* menggunakan proses Hydrotreating, terdapat variabel penelitian seperti Volume Bahan Baku 3 liter, Temperatur Feed Tank 500 °C, Temperatur Reaktor 340 °C, Tekanan Proses Hydrotreating 20 bar, katalis Nikel/Bentonite Teraktivasi 3%, dan Tekanan Hidrogen yang diinjeksikan sebanyak 4 Bar. diperoleh

hasil rendemen paling optimum pada running ke-9 rendemen sebanyak 1283 ml dengan konversi sebesar 43,20%. Dibawah suhu optimal, CPO belum sepenuhnya diubah menjadi produk *green diesel*, sehingga sementara produk kondensasi diekspresikan, banyak uap gas yang dilepas. Produk hasil proses *hydrotreating* yang dihasilkan merupakan produk mentah *green diesel* yang masih mengandung fraksi lain selain diesel. Destilasi dilakukan untuk mendapatkan fraksi diesel yang diinginkan. Destilasi dilakukan dengan kolom distilasi bubble cup tray dengan temperatur boiler 250°C dan kondensor 8°C. Sebanyak 5 liter rendemen yang didestilasi menghasilkan 800ml fraksi diesel atau green diesel dengan tingkat konversi sebesar 16%. Selanjutnya dilakukan uji karakterisasi terhadap produk green diesel seperti densitas, viskositas, titik nyala, titik didih, nilai kalor dan bilangan setana.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Analisa Katalis pada Proses hydrotreating

Tabel 1. Karakteristik katalis 10% Ni / 90% Bentonite melalui metode impregnasi basa.

Katalis	Jumlah Pori (µm)	Total Area (m ² /g)	Rerata Ukuran (µm ²)
10% Ni / 90% Bentonite	260	104.16	24.9615

Menurut penelitian yang telah dilakukan Impregnasi basa dapat mempertahankan atau bahkan meningkatkan luas permukaan spesifik dan volume pori Bentonite [10]. Sedangkan menurut penelitian lain menyatakan bahwa katalis Ni/Bentonite yang dipreparasi dengan impregnasi basa menggunakan NaOH memiliki luas permukaan yang lebih tinggi

Menurut Erliyanti dkk (2021) menyatakan bahwa bahwa tekanan memiliki pengaruh terhadap titik nyala dimana tekanan operasi yang tinggi akan mempercepat waktu reaksi. Namun jika flash point memiliki nilai yang terlalu tinggi akan menyulitkan saat proses pengapian.

Calorie Value (Nilai Kalor)

Nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna. Nilai kalor green diesel yang dihasilkan lebih rendah dari standar eropa yaitu 42,91 MJ/kg. Pengujian dilakukan dengan metode ASTM D5865-11a. Hasil pengujian menunjukkan untuk nilai kalor bruto (calorific value, gross). Nilai kalor green diesel yang lebih rendah bisa dipengaruhi oleh adanya kandungan oksigen dan struktur molekul. Kandungan oksigen pada green diesel dapat bervariasi tergantung pada proses pembuatannya. Susunan atom dan rantai molekul yang lebih pendek dalam green diesel berbeda dengan minyak solar menyebabkan nilai kalor green diesel lebih rendah dibandingkan minyak solar. Disamping itu, semakin tinggi temperatur yang digunakan maka produk gas kondensabel semakin banyak sehingga nilai kalor produk liquid mengalami penurunan.

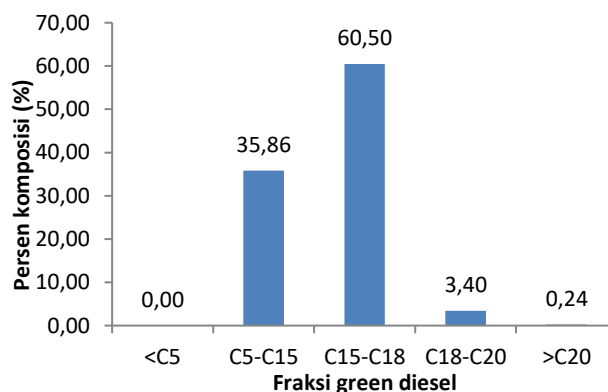
Cetane Number (Angka Setana)

Cetane number atau angka setana adalah sebuah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan kualitas pembakaran bahan bakar diesel. Angka ini menunjukkan seberapa mudah bahan bakar diesel tersebut menyala saat dikompresi di dalam mesin diesel. Semakin tinggi angka cetane, semakin mudah bahan bakar diesel tersebut terbakar. Hal ini berarti pembakaran akan lebih cepat dan lebih efisien, sehingga menghasilkan kinerja mesin yang lebih baik dan emisi yang lebih rendah. Cetane number green diesel proses hydrotreating adalah 75,1. Pengujian cetane number dilakukan dengan metode ASTM D5865-11a. Cetane Number yang diperoleh masuk dalam range yang ditetapkan oleh keputusan dirjen EBTKE- KESDM Nomor: 95.K/EK.05/DJE/2022 untuk BBN jenis diesel biohidrokarbon dengan minimal nilai angka setana adalah 70. Angka setana yang lebih tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar tersebut semakin cepat pembakarannya, yang dapat meningkatkan efisiensi dan daya tahan mesin.

Analisa senyawa kimia dan komposisi green diesel menggunakan GC-MS

Pada penelitian ini, sampel produk green diesel dilakukan analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) untuk menganalisis senyawa kimia dan komposisi rendemen hasil dari proses hydrotreating

crude palm oil (CPO) menggunakan katalis Nikel/Bentonit teraktivasi 3%. Sampel ini mewakili keseluruhan sampel dengan tekanan hidrogen yang berbeda. Kromatografi Gas (GC) berperan untuk memisahkan campuran senyawa berdasarkan sifat fisik kimia mereka. Dalam GC, campuran sampel diuapkan dan dialirkan melalui kolom yang diisi dengan fase stasioner. Senyawa yang berbeda berinteraksi dengan fase stasioner dengan cara yang berbeda, menyebabkan mereka bergerak pada kecepatan yang berbeda melalui kolom. Sedangkan Spektrometri Massa (MS) kemudian mengidentifikasi dan mengukur massa molekul dari senyawa yang dipisahkan oleh GC. MS menionisasi molekul sampel, memecahnya menjadi fragmen-fragmen bermuatan, dan menganalisis rasio massa-terhadap-muatan (m/z) dari fragmen-fragmen tersebut.



Gambar 5. Grafik Fraksi Produk Green Diesel

Green diesel dari proses hydrotreating crude palm oil ini mengandung senyawa hidrokarbon dengan jumlah rantai C yang beragam. Produk yang dihasilkan mengandung rantai (C5-C14) sebesar 36,73%, (C15-C18) sebesar 60,01%, (C19-C20) sebesar 3,04%, dan >C20 sebesar 0,21%. Fraksi (C15-C18) merupakan fraksi dominan dengan persen komposisi tertinggi yang merupakan fraksi diesel. Green diesel yang dihasilkan tidak mengandung fraksi <C5 karena hidrokarbon dibawah C5 merupakan hidrokarbon berfase gas dan tidak dapat dikondensasi, sehingga menguap ke udara. Fraksi (C5-C15) terdiri dari nafta, gasoline, dan kerosene yang timbul karena proses perengkahan secara terus menerus sehingga rantai hidrokarbon yang panjang terurai menjadi rantai pendek dan ringan. Selain itu terdapat juga fraksi (C19-C20) yang merupakan minyak pelumas dan C20 yang merupakan paraffin fraksi tersebut terbentuk karena crude palm oil belum merengkah sepenuhnya menjadi produk yang diinginkan yaitu diesel.

4 KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel green diesel pada penelitian ini memiliki kualitas yang sangat baik dan memenuhi sebagian besar persyaratan standar EN 15940. Dengan densitas 780,8 kg/m³, viskositas kinematik 2,24 cSt, dan titik nyala 64°C, sampel ini berada dalam rentang yang dapat diterima untuk digunakan sebagai bahan bakar. Namun, keunggulan utama sampel ini terletak pada angka cetane yang sangat tinggi, yaitu 75,1, jauh di atas batas minimum 70. Angka cetane yang tinggi ini mengindikasikan kualitas pembakaran yang sangat baik, yang berpotensi meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi emisi. Meskipun nilai kalornya sedikit di bawah standar, yaitu 42,91 MJ/kg, namun secara keseluruhan sampel green diesel ini menunjukkan potensi yang besar sebagai alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

REFERENSI

- [1] Aulya Ristanti, R., Putra Sagara, B., Sumbogo Murti, S., Redjeki, S., Studi Teknik Kimia, P., Teknik, F., Pembangunan Nasional, U., Tmur, J., Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, J., Teknologi Sumber Daya Energi, P., Kimia, I., Pengkajian dan Penerapan Teknologi, B., Energi, G., Puspipstek, K., & Selatan, T. (2020).
- [2] Wafi, M., & Budianto, A. (2022). Review Jurnal : Produksi Biofuel dari Palm Oil dengan Berbagai Metode Proses. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(4), 368–375. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i4.633>
- [3] Hongloi, N., Prapainainar, P., Seubsi, A., Sudsakorn, K., & Prapainainar. (2019). Nickel Catalyst with Different Supports for Green Diesel Production. *Energy*, 309–320.
- [4] Aziz, I., Surgita, P., Darmawan, N., Adep., A D. (2023). Synthesis of Green Diesel from Palm Oil Using Nickel-based Catalyst. *Jurnal Kimia Valensi*, 9, 59-75. Retrieved from <http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/valensi>
- [5] Asikin-mijan, N., Juan, J. C., Taufiq-yap, Y. H., Ong, H. C., Lin, Y., Abdulkareem-Alsultan, G., & Lee, H. V. (2023). Toward sustainable green diesel production: Advancements and opportunities in acid-base catalyzed H₂-free deoxygenation process. *Catalysis Communication*.
- [6] Ramadhanti, Y. (2023). Peran Katalis Dalam Reaksi Kimia: Mekanisme Dan Aplikasi. *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik*, 2(2), 74–78. <https://doi.org/10.55904/hexatech.v2i2.915>
- [7] Ristanti, R. A., Sagara, B. P., Murti, S. S., & Redjeki, S. (2020). Pembuatan Green Diesel Dari Minyak Biji Kapuk (Ceiba Pentandra) Menggunakan Katalis Ni-mo/γ-Al₂O₃ Dengan Proses Hidrogenasi Dan Fraksinasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 15–20. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i1.2298
- [8] Aditya, R. (2021). Hidrogenasi 2-Etil Heksenal Berkatalis Nikel: Pengaruh Penambahan Logam Cu dan K Terhadap Aktivitas Katalis dengan Studi Statistik. *Al-Kimiya*, 8(1), 42–50. <https://doi.org/10.15575/ak.v8i1.12466>
- [9] Geraldina, G., Taslimah, T., & Nuryanto, R. (2016). Pemanfaatan Montmorillonit Terpillar Al-Cr pada Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dengan Variasi Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(3), 99–106. <https://doi.org/10.14710/jksa.19.3.99-106>
- [10] Haerudin, H., Tursiloadi, S., Widiyarti, G., & Rahayu, W. S. (2010). Effect Of Preparation Method Of Ni Catalyst Using Bentonite As The Support Material. *Indonesian Journal of Chemistry*, 3(2), 118–125. <https://doi.org/10.22146/ijc.21895>
- [11] Hartono, R., Adiwibowo, M. T., Yulvianti, M., Rochmat, A., Faizin, A., Aziz, M. A., & Arbantini, S. (2022). Pengaruh Impregnasi Koh Pada Katalis Bentonit Bojong Manik Lebak Banten Dalam Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), 46. <https://doi.org/10.36055/jip.v11i1.14723>
- [12] Zikri, A., & Aznury, M (2020). Green Diesel production from crude palm oil (CPO) using. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:doi:10.1088/1757-899X/823/1/012026
- [13] Humas EBTKE. 2020. Menteri Arifin: Transisi Energi Mutlak Diperlukan. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Diakses 15 agustus 2024. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/11/02/3643/percepatan.upaya.transisi.energi.menteri.esdm.dorong.pemanfaatan.tenaga.hidro>
- [14] Nugraha, M. S., Mahatmanti, F. W., & Sulistyansih, T. (2017). Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi HCl sebagai Adsorben Ion Logam Cd (II). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), 2–7