

Produksi Bio-Nafta dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis *Nanotube Halloysite* (HNT) dan Hidroproses Katalitik sebagai Bahan Baku pada Produk Petrokimia

Satrio Hadi Lawu Antoro¹, Tun Sriana^{1*}

¹ Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Indonesia

ABSTRAK

Penurunan cadangan bahan bakar fosil mendorong perlunya alternatif berkelanjutan untuk bahan baku petrokimia. Penelitian ini mengeksplorasi konversi minyak jelantah menjadi bio-nafta melalui proses *catalytic cracking* dan *hydro processing*, dengan menggunakan *Halloysite Nanotubes* (HNT) dan Mo_2C -CNF sebagai katalis. Proses ini mencapai tingkat konversi sebesar 96%, menghasilkan bio-nafta yang memenuhi spesifikasi penting petrokimia, termasuk densitas yang sesuai, tekanan uap Reid, kadar sulfur rendah, dan rentang titik didih 46–128°C. Bio-nafta yang dihasilkan menunjukkan kompatibilitas dengan proses petrokimia konvensional, menyediakan alternatif bagi nafta berbasis minyak bumi. Secara ekonomi, pendekatan ini mengurangi biaya bahan baku, dengan potensi penghematan sekitar Rp660 miliar per tahun bagi kilang yang menggunakan 10% bio-nafta dalam inputnya. Secara lingkungan, pendekatan ini mengurangi limbah dari minyak jelantah sekaligus mendukung tujuan energi dan keberlanjutan Indonesia. Hasil penelitian ini mendukung bio-nafta sebagai bahan baku yang layak, berkelanjutan, dan hemat biaya, yang memberikan kontribusi positif terhadap profitabilitas industri dan keberlanjutan lingkungan di sektor petrokimia.

Kata Kunci: Bio nafta, *Catalytic cracking*, *Halloysite nanotubes*, Minyak jelantah, Petrokimia

 tun.sriana@gmail.com

1. Pendahuluan

Produksi minyak bumi diperkirakan akan terus menurun sekitar 4,0% per tahun. Pada tahun 2023 tercatat produksi minyak bumi di Indonesia sebesar 660.000 bph dan menurun menjadi 607.000 bph pada tahun 2023. Ekspor minyak bumi pada tahun 2021 sebesar 42.999.420 barel dan pada tahun 2022 sebesar 15.581.571 barel sehingga diperkirakan terus menurun secara perlahan dan akan berakhir pada tahun 2035. Penurunan pasokan minyak dan gas bumi akan disertai dengan

peningkatan konsumsi minyak bumi di berbagai sektor [1].

Industri Petrokimia merupakan industri yang membutuhkan pasokan minyak sebagai bahan baku dalam jumlah yang besar. Pada tahun 2024, industri petrokimia mengonsumsi sebanyak 12.6 mb minyak/hari. Nafta merupakan bahan baku petrokimia yang paling banyak digunakan terutama di Asia. Rata-rata peningkatan kebutuhan nafta diprediksi mencapai 1,3%/tahun atau 2,3 mb/hari antara tahun 2023 dan 2040. Peningkatan per-

tumbuhan ekonomi dan kesejahteraan manusia akan menyebabkan kebutuhan akan produk-produk petrokimia semakin meningkat, sehingga kebutuhan akan bahan baku petrokimia juga meningkat. Meningkatnya kebutuhan akan nafta sebagai bahan baku petrokimia harus diimbangi dengan suplai nafta yang mencukupi.

Minyak jelantah merupakan minyak goreng yang telah digunakan beberapa kali untuk memasak. Indonesia memproduksi kurang lebih 23,8 juta minyak jelantah pada tahun 2024 dan diprediksi akan meningkat setiap tahun. Selama ini banyak minyak jelantah yang masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Pembuangan limbah minyak jelantah masih dilakukan secara sembarangan. Minyak jelantah telah mengalami proses penggorengan secara terus menerus yang menyebabkan kandungan asam lemak tak jenuhnya meningkat, hal ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan apabila dikonsumsi oleh manusia [2][3].

Kedua permasalahan diatas dapat diatasi sekaligus dengan pembuatan *Bio Naptha production from Waste Cooking oil* (BIOCO). BIOCO merupakan suatu produk Bio-Nafta hasil konversi minyak jelantah menjadi nafta yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku. Apabila dibandingkan dengan nafta yang berasal dari minyak bumi, bio-nafta hasil konversi minyak jelantah ini memiliki berbagai kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan lebih terjangkau sehingga dapat mengurangi biaya pemrosesan bahan baku nafta hingga menjadi produk petrokimia [4]. Peranan mengurangi permasalahan yang ditimbulkan dalam penelitian ini akan dilakukan menghadirkan solusi inovatif dalam menghadapi krisis energi di Indonesia. Dengan mengonversi minyak jelantah menjadi bio-nafta, penelitian ini menawarkan alternatif yang lebih berkelanjutan terhadap bahan baku petrokimia berbasis minyak bumi. Inovasi ini berpotensi mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil yang semakin menipis, sehingga membantu menjaga ketahanan energi nasional dan mengurangi risiko krisis energi di masa depan.

Selain itu, penelitian ini juga memberikan solusi atas permasalahan kesehatan yang mungkin timbul akibat akumulasi minyak jelantah yang tidak dikelola dengan baik. Penggunaan kembali minyak jelantah untuk produksi bio-nafta tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga meminimalkan dampak kesehatan negatif bagi masyarakat. Lebih jauh lagi, penelitian ini mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama dalam aspek energi bersih dan terjangkau, perlindungan ekosistem darat, dan mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi positif dalam upaya keberlanjutan energi dan lingkungan di Indonesia.

2. Metode

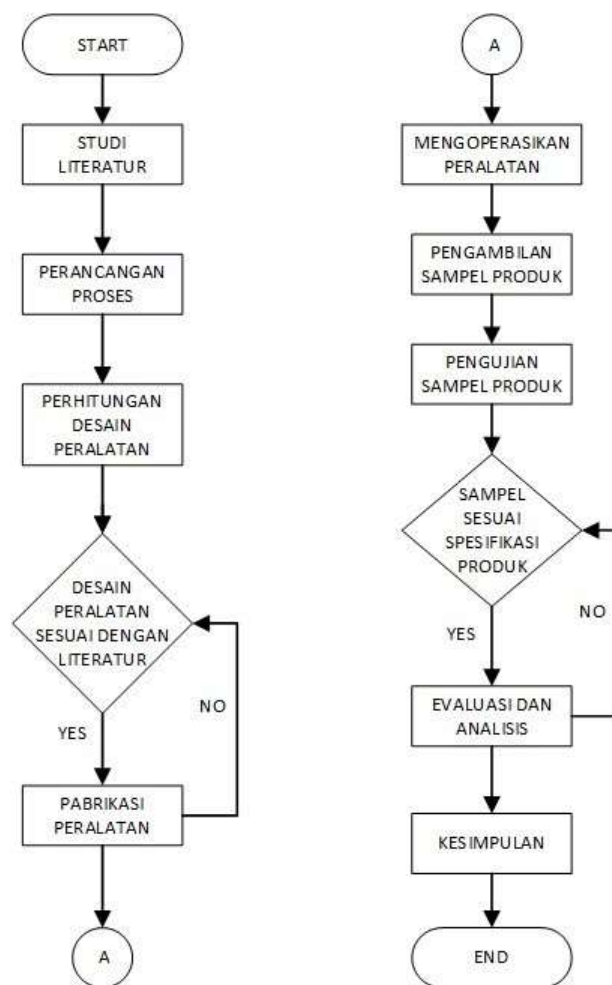
Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental. Metode eksperimental bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan adanya hubungan sebab akibat pada variabel terikat maupun variabel bebas dengan dilakukan konversi minyak jelantah menjadi bio nafta memiliki beberapa tahapan. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami teori dasar serta hasil-hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan produksi bio-nafta dari minyak jelantah. Studi ini penting untuk mempelajari proses, teknologi, dan desain peralatan yang telah ada, sehingga dapat menjadi acuan dalam mengembangkan metode yang akan diterapkan. Setelah studi literatur, proses produksi bio-nafta dari minyak jelantah dirancang dengan menetapkan langkah-langkah teknis, metode pemrosesan, jenis reaksi yang akan diterapkan, serta parameter-parameter yang harus diperhatikan. Berdasarkan rancangan tersebut, dilakukan perhitungan desain peralatan untuk menentukan spesifikasi teknis yang diperlukan, termasuk ukuran, kapasitas, dan material yang dibutuhkan agar peralatan dapat bekerja optimal.

Hasil perhitungan ini kemudian disbandingkan dengan standar dan referensi literatur yang telah dipelajari. Jika desain peralatan yang dibuat sesuai dengan literatur, tahap ini selesai; namun, jika belum sesuai, dilakukan penyesuaian hingga sesuai dengan referensi

yang ada. Setelah desain disetujui, proses fabrikasi dimulai untuk membuat peralatan sesuai spesifikasi yang telah dirancang.

Setelah peralatan selesai dibuat, tahap berikutnya adalah mengoperasikannya sesuai prosedur yang ditentukan. Tahap ini bertujuan untuk menjalankan proses produksi dan menguji efektivitas peralatan yang telah dirancang dan difabrikasi. Selama produksi, dilakukan pengambilan sampel bio-nafta pada waktu tertentu untuk memeriksa kualitas dan karakteristik produk yang dihasilkan.

Sampel-sampel ini kemudian diuji untuk memastikan karakteristiknya memenuhi spesifikasi yang diharapkan, termasuk komposisi, kepadatan, titik didih, dan parameter relevan lainnya. Jika sampel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi, dilakukan evaluasi dan analisis untuk menilai keseluruhan proses produksi. Namun, jika hasil sampel tidak sesuai, dilakukan evaluasi lebih lanjut guna mengidentifikasi dan memperbaiki masalah yang ada dalam proses produksi. Pada Gambar 1 akan dijelaskan tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. Pembahasan

3.1. Studi Kelayakan Bahan Baku

Indonesia menghasilkan 29 juta ton minyak jelantah setiap tahun. Minyak goreng bekas dalam volume besar dapat berasal dari industri rumah tangga, restoran, dan makanan.

Berdasarkan survei di Indonesia, harga minyak jelantah sekitar Rp2.000/liter. Sistem pengumpulan terpadu perlu dibuat di tempat yang menghasilkan minyak jelantah secara besar-besaran. Kolaborasi antara perusahaan makanan dan petrokimia juga bisa menjadi solusi untuk mengumpulkan limbah minyak

goreng untuk bahan baku petrokimia. Diperkirakan biaya transportasi untuk mengumpulkan minyak jelantah sekitar Rp 500 per liter. Oleh karena itu, total biaya untuk memperoleh bahan baku adalah Rp 2.500 per liter. Konversi minyak jelantah menjadi bio-nafta dilakukan dengan katalis HNT dan Mo₂C-CNF. Kedua katalis tersebut tersedia secara luas di pasaran dengan harga HNT US\$10/kg dan Mo₂C-CNF berharga US\$ 1/Kg. Kilang proses perengkahan dalam industri petrokimia menghasilkan hidrogen dalam jumlah besar, Dengan sistem integrasi di pabrik, hidrogen ini dapat digunakan untuk proses hidro-deoksigenasi tanpa memerlukan biaya [5].

3.2. Studi Kelayakan Proses Pembuatan produk

Teknologi yang digunakan dalam proses konversi limbah minyak goreng menjadi bio-nafta adalah *catalytic cracking* dan *catalytic hydro-processing*. Kedua teknologi ini sudah

digunakan di seluruh dunia dan sudah banyak literatur terpercaya yang tersedia. Perhitungan desain, reaksi kimia dan kondisi operasi untuk proses ini telah tersedia dari banyak sumber secara luas. Teknologi proses ini juga telah disediakan oleh banyak pemberi lisensi. Dengan demikian, teknologi proses ini dapat diterapkan pada saat ini [1].

3.3. Perancangan *Prototype* Alat

Pemilihan teknologi proses yang digunakan untuk penelitian ini dipengaruhi oleh beberapa. Dasar pemilihan teknologi proses pada penelitian ini adalah terlebih dahulu penentuan fraksi komponen produk yang akan dihasilkan. Perengkahan katalitik adalah teknologi proses yang cocok untuk mengonversi minyak jelantah menjadi fraksi produk nafta. Maka alat-alat yang perlu digunakan disajikan pada Tabel 1 yang meliputi: *reactor thermal cracking*, *reactor catalytic cracking*, dan rangkaian kondensator.

Tabel 1. Daftar peralatan proses dan penggunaannya

Peralatan	Penggunaan
<i>Band heater</i>	Pemanas reaktor 1
Reaktor 1	Tempat terjadinya <i>thermal cracking</i>
Reaktor 2	Tempat terjadinya <i>catalytic cracking</i>
Reaktor 3	Tempat terjadinya <i>deoxygenation</i>
Kondensator	Mengkondensasi produk yang masih dalam fase gas
Pompa	Sirkulasi air pendingin untuk kondensator
Tangki produk	Menampung produk yang telah dikondensasi

Reaktor *catalytic cracking* diisi dengan katalis *Halloysite Nanotubes* (HNT) dengan tipe *fixed bed*. Pemilihan katalis ini berdasarkan studi literatur, bahwa katalis ini memiliki ukuran pori yang cukup untuk molekul minyak jelantah. Reaktor 3 sebagai tempat proses *deoxygenation* diisi dengan katalis MO₂C-CNF yang pada literatur menyatakan bahwa katalis ini menghasilkan laju hidrogenasi yang lebih tinggi dan dapat menghasilkan produk yang tinggi kandungan parafinnya [6][7].

3.4. Sistem Pengujian Produk

Pada penelitian ini, produk bio nafta diuji spesifikasinya sesuai dengan parameter uji utama produk nafta, yaitu densitas (Kg/m³), *Reid Vapor Pressure* (kPa), *ASTM Distillation* (°F), kandungan sulfur (ppm wt), dan kandungan logam (ppm wt). Standar metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar metode pengujian untuk produk bio nafta

Parameter	Metode Pengujian
Densitas	ASTM D 4052
<i>Reid Vapor Pressure</i>	ASTM D 323

Distilasi	ASTM D 86
Kandungan sulfur	ASTM D 4294
Kandungan logam	AAS Graphite

3.5. Pemilihan Konsep

Produksi minyak dan gas bumi semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan produk-produk minyak dan gas bumi dari berbagai sektor. Industri petrokimia merupakan sektor yang membutuhkan produk minyak dan gas bumi, terutama nafta, dalam jumlah besar yang selanjutnya akan digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk petrokimia. Menu runnya pasokan minyak dan gas bumi menyebabkan adanya peningkatan harga bahan baku industri petrokimia. Pemenuhan kebutuhan akan bahan baku petrokimia dapat dicapai, salah satunya, dengan menggunakan bahan baku alternatif petrokimia.

Minyak jelantah disisi lain merupakan salah satu jenis limbah yang sampai sekarang belum dapat dikelola dengan baik. Produksi minyak jelantah juga akan semakin meningkat dikarenakan adanya peningkatan populasi masyarakat di Indonesia. Selama ini, minyak jelantah langsung dibuang ke perairan maupun ke tanah. Perilaku ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, baik tanah maupun perairan. Oleh karena itu, diperlukan suatu tindakan untuk mengolah minyak jelantah menjadi produk yang lebih berguna. Minyak jelantah memiliki struktur yang hampir sama dengan struktur minyak bumi. Hal ini berarti, melalui proses konversi yang tepat, minyak jelantah dapat dikonversi menjadi produk minyak bumi. Melihat diperlukannya alternatif bahan baku industri petrokimia, maka konversi minyak jelantah menjadi BIOCO sebagai bahan baku alternatif petrokimia, merupakan suatu solusi yang dapat menyelesaikan dua persoalan diatas sekaligus.

Minyak jelantah selama ini apabila dikonversi akan diubah menjadi bahan bakar minyak, seperti biodiesel. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa biodiesel hasil konversi dari minyak jelantah menyebabkan berbagai permasalahan pada mesin motor. Di antaranya adalah terbentuknya *coke* pada injector,

terbentuknya *carbon deposit*, dan mengentalnya oli mesin. Hal inilah yang menyebabkan munculnya gagasan untuk mengonversi minyak jelantah menjadi bahan baku petrokimia, dikarenakan spesifikasi bahan baku petrokimia lebih mudah terpenuhi dibandingkan spesifikasi untuk bahan bakar motor. Selain itu, produk petrokimia hasil dari BIOCO memiliki berbagai manfaat, di antaranya lebih ramah lingkungan dikarenakan bahan bakunya yang lebih mudah terdegradasi.

3.6. Efek Domino Penggunaan Produk BIOCO

Konversi minyak jelantah sebagai bahan baku kilang petrokimia dapat menjadi suatu solusi terhadap perhatian publik akan limbah rumah tangga yang dapat merusak lingkungan, seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap proteksi lingkungan dewasa ini. Apabila dibandingkan dengan bahan baku aslinya (nafta dari minyak dan gas bumi), bahan baku alternatif berbasis minyak jelantah ini memiliki nilai-nilai lebih seperti ramah lingkungan (*environment-friendly*), sumber daya yang berkelanjutan (*sustainable resource*), dan mudah dijangkau (*affordable*). Riset-riset sebelumnya pada umumnya berfokus pada konversi minyak jelantah menjadi bio-fuel melalui proses *hydrocracking*, yang mana produk konversi dari hasil proses *hydrocracking* ini memiliki masalah kompatibilitas mesin, seperti deposit karbon yang terbentuk, reaktivitas tinggi, viskositas tinggi, daya peng-uapan yang rendah, dan pembentukan *coke* pada alat injeksi bahan bakar.

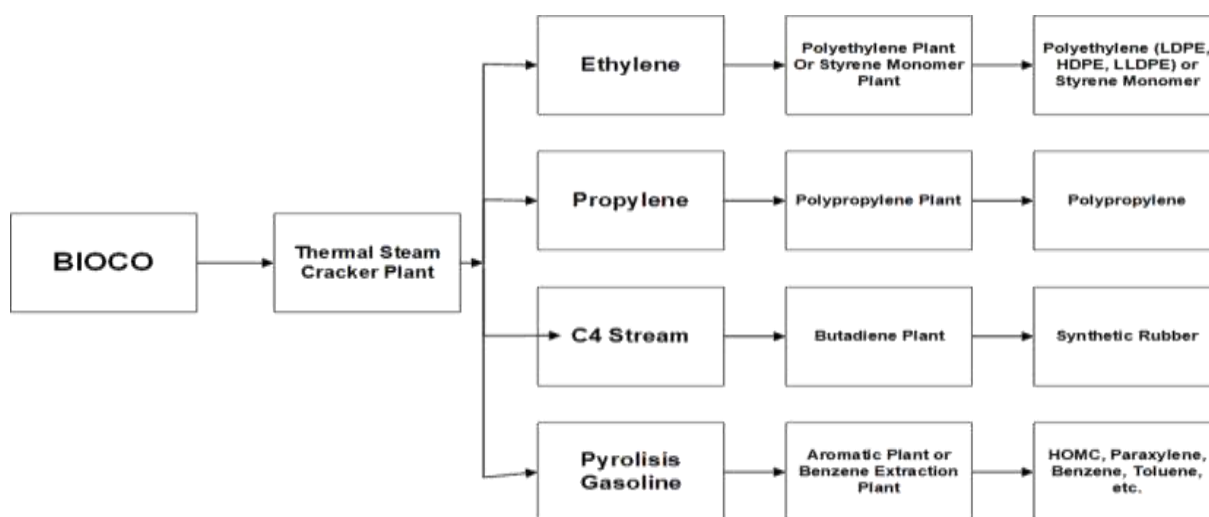
Namun di sisi lain, minyak jelantah ini apabila dikonversi menjadi bahan baku kilang petrokimia, masalah-masalah kompatibilitas mesin seperti yang disebutkan sebelumnya dapat diabaikan. Riset-riset sebelumnya juga tidak melakukan uji spesifikasi produk berbasis minyak jelantah, sementara riset pembuatan BIOCO ini melakukan uji spesifikasi produk dan didapatkan bahwa produk BIOCO ini memenuhi parameter-parameter kritis persyaratan umpan industri kilang petrokimia, se-

perti massa jenis, *Reid vapor pressure*, rentang titik didih, kandungan senyawa hidrokarbon parafin, kandungan sulfur, dan kandungan metal.

BIOCO sebagai umpan kilang petrokimia dapat memproduksi beberapa jenis produk, seperti *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *high octane mogas components* (HOMC), *paraxylene* (PX), dll. Produk-produk *intermediate* ini dapat bercabang banyak menjadi kebutuhan sehari-hari pada proses lanjut, seperti *polyethylene* (PE) yang dapat menjadi botol plastik, pipa PVC, dll. *Polypropylene* dapat dibuat sebagai bahan baku *dashboard* mobil. *High Octane Mogas Components* dapat

digunakan sebagai *octane booster* pada bahan bakar, dan *paraxylene* (PX) dapat dikonversi menjadi *terephthalic acid* sebagai bahan komponen kain yang selanjutnya digunakan dalam produksi pakaian.

Efek domino penggunaan produk BIOCO sebagai bahan baku kilang petrokimia digambarkan pada diagram balok dibawah ini (Gambar 2). Pada kondisi ini diasumsikan kilang petrokimia tersebut berbasis *olefin-based petrochemicals*, sehingga produk-produk *intermediate* yang dihasilkan sebagian besar merupakan monomer senyawa olefin.



Gambar 2. Efek domino penggunaan produk BIOCO

BIOCO merupakan alternatif umpan kilang petrokimia yang murah dan memiliki sumber daya keberlanjutan (berbasis minyak jelantah) yang dapat digunakan untuk proses manufaktur produk ramah lingkungan yang umumnya digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Bioplastik dapat diproduksi dari BIOCO yang menghasilkan plastik seperti pada umumnya tanpa menimbulkan dampak dari buangan plastik itu sendiri. Bio-plastik dari BIOCO dibuat dari substansi yang berasal dari alam, yang membuat plastik ini berpengaruh untuk mengurangi 70% efek gas rumah kaca daripada plastik pada umumnya dan mudah terdegradasi hanya dengan periode waktu yang singkat melalui paparan panas sinar matahari.

3.7. Deskripsi Teknologi Proses

Perengkahan katalitik (*catalytic cracking*), proses ini merupakan metode alternatif untuk memproduksi *bio-based product* yang sesuai dengan parameter umpan kilang petrokimia. Proses ini memiliki keunggulan daripada transesterifikasi dalam hal biaya operasi yang lebih rendah dan fleksibilitas umpan proses tanpa memperhitungkan kadar asam lemak jenuh atau *free fatty acid* (FFA). Pada proses ini, minyak jelantah dapat dikonversi menjadi senyawa hidrokarbon dengan kondisi tanpa oksigen pada tekanan atmosferis melalui pemanasan pada suhu relatif rendah dengan bantuan katalis. Porositas dan kadar keasaman merupakan karakteristik penting pada katalis yang mempengaruhi aktivitas katalis dan produk yang

dihasilkan. Efektivitas katalis dievaluasi berdasarkan hasil eksperimen dengan beragam rasio katalis terhadap umpan (*catalyst to oil ratio*) dan suhu reaksi.

Pada proses ini, katalis *Halloystite Nanotubes* (HNT) merupakan katalis yang digunakan pada proses perengkahan katalitik dan kondisi operasi optimum didapat pada suhu 500°C pada tekanan atmosferis dengan rasio katalis terhadap umpan sebesar 0,15 dan dihasilkan selektivitas produk dengan rentang hidrokarbon C₅-C₁₁ sebesar 96.87%. Hasil ini berkaitan dengan kandungan asam lemak pada minyak jelantah, yang memiliki kandungan asam oleat dengan kadar yang cukup tinggi. Dari rantai asam lemak, terdapat kemungkinan untuk mendapat rantai hidrokarbon C₅, C₇, dan C₉ melalui proses β -*scission*, yang diikuti dengan reaksi radikal.

Terdapat fakta bahwa kandungan olefin berkurang seiring dengan peningkatan berat molekul (begitu juga titik didih) dari hidrokarbon. Sebagai contoh, jika etana mengalami perengkahan (*thermal cracking*), akan menghasilkan 80% etilena, sementara propane, butana, nafta, dan gas oil sebagai umpan, apabila dilakukan perengkahan secara berurutan akan menghasilkan etilena sebesar 45%, 37%, 30%, dan 25%. Sehingga, umpan yang diharapkan memiliki rentang titik didih yang rendah. Pada proses perengkahan katalitik ini, dihasilkan kandungan yang cukup tinggi pada rantai olefin dan kandungan oksigen, serta kemungkinan terbentuk coke yang tinggi akibat adanya reaksi radikal. Oleh karena itu, diperlukan suatu proses *treating* pada produk melalui proses *catalytic hydro-processing* untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut. Kelemahan dari proses perengkahan katalitik yang telah disebutkan sebelumnya (kandungan oksigen) berpengaruh pada stabilitas dan fluiditas produk. Kelemahan produk minyak jelantah ini dapat diatasi dengan mengurangi kadar oksigen dengan *heterogeneous catalyst* [8].

Deoksigenasi dengan tanpa adanya hidrogen menghasilkan perbedaan yang signifikan pada jalannya reaksi dan selektivitas produk. Penggunaan katalis ditujukan untuk mening-

katkan laju reaksi proses deoksigenasi pada minyak jelantah dan Mo₂C-CNF merupakan katalis yang digunakan karena rantai parafin merupakan produk yang diinginkan pada proses ini dikarenakan persyaratan pada umpan kilang petrokimia. Hidrogen sendiri selain membantu proses deoksigenasi, juga digunakan sebagai pemutus reaksi radikal pada minyak jelantah untuk menghindari terbentuknya *coke* pada proses operasi [9].

3.8. Proses Manufaktur

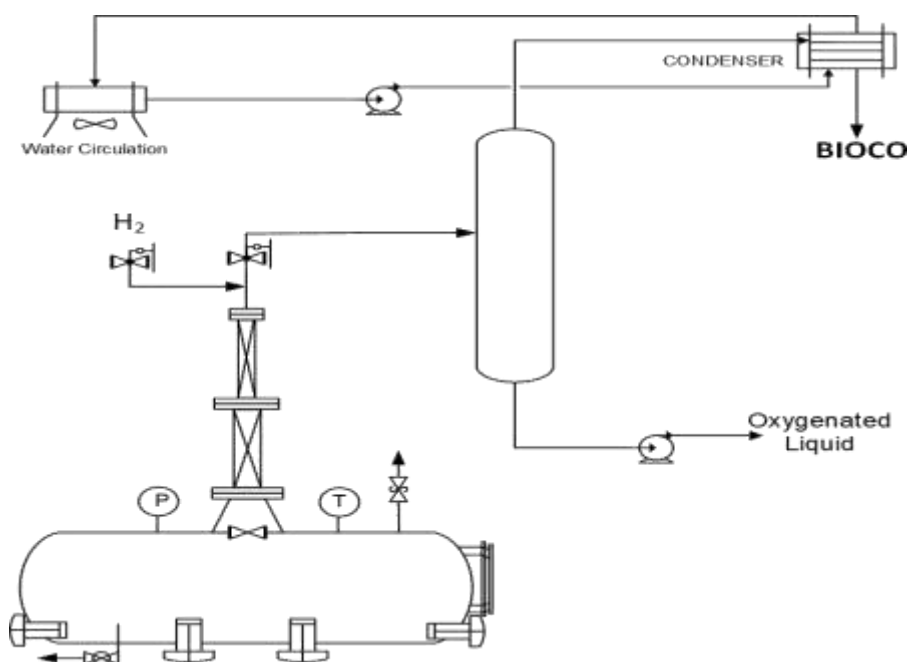
Proses konversi minyak jelantah menjadi bio-nafta digambarkan pada Gambar 3 yang terjadi pada reaktor. Penyaringan minyak jelantah melalui *mesh filter* diperlukan sebelum memasuki reaktor seri dengan tujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Minyak jelantah diproses melalui dua reaktor seri, namun sebelum memasuki reaktor tersebut, minyak jelantah mengalami pemanasan pada bejana umpan pada 500 °C pada tekanan atmosferis. Pemanasan ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi operasi optimum pada reaktor (500 °C, 1 atm); selain itu, untuk membentuk fase uap (*vapor*) pada fluida umpan saat memasuki katalis. Perengkahan katalitik pada uap minyak jelantah terjadi pada reaktor pertama dengan menggunakan katalis *Halloysite Nanotubes* (HNT). Proses deoksigenasi pada produk reaksi perengkahan katalitik dilakukan melalui proses *catalytic hydro processing*. Kondisi operasi pada proses ini yaitu 350°C dengan tekanan H₂ sebesar 4 bar. Proses *catalytic hydro processing* pada uap minyak jelantah terjadi pada reaktor kedua dengan menggunakan katalis Mo₂C-CNF dan suplai injeksi [10].

Produk akan meninggalkan reaktor kedua dan memasuki separator untuk dipisahkan produk BIOCO dan *oxygenated liquid*. Uap akan meninggalkan separator sebagai produk atas lalu akan dikondensasikan oleh kondensor untuk mendapatkan fase cair dari BIOCO dan *oxygenated liquid* akan menjadi produk bawah separator. Panas yang digunakan untuk perengkahan hidrokarbon minyak jelantah didapat dari panas buangan dapur (*furnace*) di *naphtha steam cracker plant* (perengkahan nafta dilakukan di *furnace* pada suhu di atas 800°C). Metode ini dapat

mengurangi biaya proses dan operasional. Terlebih lagi, suplai injeksi hydrogen dapat memanfaatkan hasil proses reaksi dehidrogenasi di *naphtha steam cracker plant*.

BIOCO (bio-nafta berbasis minyak jelantah) yang diproduksi dari proses ini memiliki spesifikasi yang sesuai dengan persyaratan

umpan kilang petrokimia berdasarkan hasil uji spesifikasi produk. Didapatkan bahwa berdasarkan hasil uji BIOCO memiliki spesifikasi seperti massa jenis sebesar 670 kg/m^3 , 85% kandungan parafin, nilai *reid vapor pressure* sebesar 60 kPa, tidak ada kandungan sulfur, kandungan metal yang rendah, dan memiliki rentang titik didih antara $46 - 128^\circ\text{C}$ [11].



Gambar 3. Diagram alir konversi minyak jelantah menjadi BIOCO

3.9. Studi Kelayakan Ekonomi Estimasi nilai CAPEX dan OPEX

Biaya modal atau *capital expenditure* (CAPEX) adalah biaya yang dikeluarkan yang memberikan manfaat pada periode yang akan datang. Total biaya modal merupakan perhitungan biaya peralatan yang mencakup biaya desain dan *engineering*, pemasangan, instrumentasi serta perpipaan utama [12]. Nilai CAPEX untuk total biaya pembuatan pabrik pengolahan sebesar Rp1,190 triliun dengan rincian seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Biaya operasional atau *Operating expenditure* (OPEX) adalah biaya operasional sehari-hari yang bersifat rutin untuk menjalankan bisnis dan mempertahankan kelangsungan operasional [13]. Pada pembuatan pabrik BIOCO, yang termasuk dalam biaya operasi di antaranya adalah biaya suplai bahan baku, biaya operasional katalis, biaya operasional utilitas, dan tenaga kerja. Nilai *operating expenditure* (OPEX) tahun untuk memproduksi 230.000 ton/tahun, BIOCO, biaya yang dibutuhkan sebesar Rp798,27 miliar dengan rincian seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Rincian biaya *capital expenditure* (CAPEX)

Penanaman Modal	Biaya (Miliar Rupiah)
<i>Catalytic cracking process unit</i>	264
<i>Catalytic hydro-processing unit</i>	50
<i>Preheating process unit</i>	78
Intital OPEX (Operasi tahun pertama)	798

Tabel 4. Rincian biaya *operating expenditure* (OPEX)

Penanaman Modal	Biaya (Miliar Rupiah/Tahun)
Suplai bahan baku	737
Operasional katalis	1,45
Operasional utilitas	5,6
Tenaga Kerja	54

Dalam penelitian ini, beberapa biaya terkait produksi bio-nafta dari minyak jelantah diperhitungkan. Pertama, harga minyak jelantah sebagai bahan baku utama adalah sekitar Rp2.000/liter. Selain itu, biaya transportasi untuk mengumpulkan minyak jelantah dari berbagai sumber berkisar Rp500/liter, yang menambah total biaya pengadaan bahan baku. Katalis yang digunakan dalam proses produksi memiliki harga sebesar US\$1,1/Kg. Katalis ini berperan penting dalam reaksi kimia yang diperlukan untuk mengubah minyak jelantah menjadi bio-nafta melalui proses *catalytic cracking* dan *catalytic hydroprocessing*.

Biaya utilitas operasional tahunan adalah biaya yang mencakup kebutuhan daya listrik, air proses, dan air pendingin yang digunakan dalam proses *catalytic cracking*, *catalytic hydro-processing*, dan pemanasan awal (*pre-heating*). Biaya utilitas ini diperlukan untuk memastikan semua proses berjalan dengan optimal dan stabil. Biaya tenaga kerja di-

perhitungkan untuk menjalankan tiga proses utama dalam pembuatan BIOCO, yaitu *catalytic cracking*, *catalytic hydro processing*, dan *pre-heating*. Biaya tenaga kerja ini meliputi gaji karyawan yang bertanggung jawab untuk mengoperasikan dan memelihara peralatan selama proses produksi berlangsung.

Harga pokok produk

Data perhitungan harga pokok penjualan untuk produk BIOCO dijelaskan pada Tabel 5. Dari hasil perhitungan didapat harga pokok penjualan tahunan produk BIOCO sebesar Rp 917,3 miliar. BIOCO yang dijadikan bahan baku petrokimia tidak berfokus pada profitabilitas penjualan produk, melainkan produk ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya bahan baku yang dapat menghasilkan keuntungan bagi perusahaan petrokimia. Setiap tahun, perusahaan petrokimia dengan kapasitas 2,3 juta ton/tahun yang menggunakan 10% bahan baku BIOCO dapat menghemat biaya sekitar Rp660 miliar/tahun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Rincian harga pokok penjualan produk

Jenis biaya	Biaya (Rupiah/liter)
Suplai minyak jelantah	2.000
Biaya <i>transport & loading</i>	500
OPEX dan depresiasi	600
Total	3.100

Tabel 6. Rincian biaya bahan baku petrokimia

Bahan baku	10% BIOCO + 90% <i>petroleum naptha</i>	100% <i>petroleum naptha</i>
<i>Petroleum naptha</i> biaya impor	1.4200,2	15.778
BIOCO	917,4	-
Total	15.117,8	15.778

Analisa IRR

Metode *net present value* (NPV) adalah metode yang dilakukan dengan membandingkan nilai sekarang dari arus kas yang dihasilkan

oleh investasi yang ditanamkan. NPV merupakan total seluruh arus kas bisnis yang berasal dari total pendapatan dikurangi dengan biaya dengan memperhatikan waktu dari uang (*time value of money*) dari arus kas se-

lama jangka waktu perhitungan. Jika nilai NPV positif ($NPV > 0$), maka bisnis tersebut layak menjadi pilihan investasi, begitu juga sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai NPV maka semakin baik bagi pemilik modal karena tingkat pengembalian semakin besar dan menguntungkan [14].

Metode *internal rate of return* (IRR) adalah salah satu metode untuk mencari suku bunga saat $NPV = 0$. Metode IRR berkaitan dengan tingkat kemampuan *cashflow* dalam mengembalikan modal investasi yang dijelaskan dalam bentuk persen (%) periode waktu serta seberapa besar kewajiban yang harus dipenuhi

[15]. Tingkat profitabilitas BIOCO dapat ditunjukkan dengan analisis IRR. Hasil perhitungan IRR ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Pinjaman pokok dari Tabel 7 digunakan untuk memperoleh kas keluar untuk mendapatkan hasil IRR. Data laba bersih didapatkan dari hasil penghematan biaya operasi petrokimia. Analisis keekonomian bisnis dengan memperhitungkan nilai IRR, *net cash flow* (NCF), *discounted cash flow* (DCF) dan *minimum acceptable rate of return* (MARR) ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Tabel Amortisasi (Miliar Rupiah)

Tahun	Pinjaman	Biaya Bunga	Pinjaman Pokok	Total Amortisasi
0	1191,14			
1	1003,66	142,94	187,49	330,42
2	793,67	120,44	209,98	330,42
3	558,49	95,24	235,18	330,42
4	295,09	67,02	263,40	330,42
5		35,41	295,01	330,42
A/p				0,28
Bunga (%)				12%

Tabel 8. Tabel Amortisasi (Miliar Rupiah)

Tahun	Kas Keluar	Kas Masuk	NCF	DCF	
				18%	30%
0	1191		-1191	-1191	-1191
1	187	660,4	472,92	400,78	363,79
2	209	660,4	450,43	323,49	266,52
3	235	660,4	425,23	258,81	193,55
4	263	660,4	397,01	204,77	139,00
5	295	660,4	365,40	159,72	98,1
Total				156,43	129,87
IRR					25%
MARR					20%

4. Kesimpulan

Seiring menurunnya produksi minyak, ketersediaan nafta dari minyak bumi yang digunakan untuk bahan baku petrokimia juga akan menurun, sementara permintaan bahan baku petrokimia terus meningkat. Untuk memenuhi persediaan dan permintaan, diperlukan bahan baku petrokimia alternatif. BIOCO da-

pat menjadi alternatif yang berpotensi untuk menggantikan nafta sebagai bahan baku petrokimia dengan mengubah minyak jelantah melalui beberapa proses. Proses konversi minyak jelantah menjadi produk bio nafta menghasilkan nilai konversi 96% dengan spesifikasi seperti kepadatan 670 kg/m^3 , *Reid Vapor Pressure* 60 kPa, kandungan sulfur yang sangat rendah, dan rentang titik didih 46–128 °C. Proses konversi ini memiliki dua

proses utama, yaitu *catalytic cracking* menggunakan katalis *Halloysite Nanotubes* (HNT) dan *catalytic hydro processing* menggunakan katalis Mo_2C -CNF untuk mendapatkan spesifikasi produk sesuai dengan minyak nafta. Produk BIOCO memiliki dampak besar pada industri petrokimia, sebagaimana dibuktikan oleh penghematan biaya bahan baku yang dihasilkan sebesar Rp660 miliar/tahun.

Daftar Pustaka

- [1] S. Hanjarvelianti and D. Kurniasih, "Pemanfaatan Minyak Jelantah dan Sosialisasi Pembuatan Sabun Dari Minyak Jelantah Pada Masyarakat Desa Sungai Limau Kecamatan Sungai Kunyit-Mempawah," *Al-Ribaath*, vol. 17, pp. 26–30, 2020.
- [2] J. Cárdenas, A. Orjuela, D. L. Sánchez, P. C. Narváez, B. Katryniok, and J. Clark, "Pre-treatment of used cooking oils for the production of green chemicals: A review," *J. Clean. Prod.*, vol. 289, p. 125129, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125129>.
- [3] M. Busyairi, A. Z. Muttaqin, I. Meicahyanti, and S. Saryadi, "Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 933–940, 2020, doi: [10.32672/jse.v5i2.1920](https://doi.org/10.32672/jse.v5i2.1920).
- [4] A. Kapuji, S. Hadi, and Z. Arifin, "Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah," *J. Chemtech*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [5] V. Abbasov *et al.*, "Catalytic cracking of vegetable oils and vacuum gasoil with commercial high alumina zeolite and halloysite nanotubes for biofuel production," *Fuel*, vol. 181, pp. 55–63, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.088>.
- [6] M. Massaro, R. Noto, and S. Riela, "Halloysite Nanotubes: Smart Nanomaterials in Catalysis," *Catalysts*, vol. 12, no. 2, p. 149, 2022. doi: [10.3390/catal12020149](https://doi.org/10.3390/catal12020149).
- [7] P. Mäki-Arvela, I. Kubickova, M. Snåre, K. Eränen, and D. Y. Murzin, "Catalytic Deoxygenation of Fatty Acids and Their Derivatives," *Energy & Fuels*, vol. 21, no. 1, pp. 30–41, Jan. 2007, doi: [10.1021/ef060455v](https://doi.org/10.1021/ef060455v).
- [8] H. Dewajani, Rochmadi, S. Purwono, and A. Budiman, "Catalytic cracking of Indonesian nyamplung oil (*Calophyllum inophyllum*) for bio-fuels production using ZSM-5 catalyst," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 10, no. Spec.issue7, pp. 61–69, 2015.
- [9] N. I. Inayati and K. R. Dhanti, "Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Lilin Aromaterapi Sebagai Alternatif Tambahan Penghasilan Pada Anggota Aisiyah Desa Kebanggan Kec Sumbang," *BUDIMAS J. Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 1 SE-Articles, pp. 160–166, Apr. 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.stie-aas.ac.id/index.php/JAIM/article/view/2217>
- [10] U. R. Chaudhuri, *Fundamentals of Petroleum and Petrochemical Engineering*. in Chemical Industries. CRC Press, 2016. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=8JiNEQAAQBAJ>
- [11] E. Garcia-Bordejé, A. M. Benito, and W. K. Maser, "Graphene aerogels via hydrothermal gelation of graphene oxide colloids: Fine-tuning of its porous and chemical properties and catalytic applications," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 292, p. 102420, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102420>.
- [12] L. J. Gitman and C. J. Zutter, *Principles of Managerial Finance*. in Prentice Hall finance series. Prentice Hall, 2012. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=uypVewAACAAJ>
- [13] S. Dampang, "Analisa Keekonomian Pengambilan Sulfur Secara Biologi Dengan proses Thiopaq Di Lapangan Gas Alam XY," *J. Konversi*, vol. 8, no. 2, pp. 37–43, 2019.
- [14] D. Hasibuan, "Npv Vs Irr: Mana Yang Harus Digunakan Dalam Mengukur Kelayakan Bisnis," *J. Manaj. Bisnis*

- Jayakarta*, vol. 2, no. 1, pp. 38–52, 2020, doi: 10.53825/jmbjayakarta.v2i1.47.
- [15] G. Abuk and Y. Rumbino, “Analisa Kelayakan Ekonomi Menggunakan Metode Net Present Value (NPV), Metode Internal Rate of Return (IRR) Payback Period (PBP) Pada Unit Stone Crusher di CV. X Kab. Kupang Prov. NTT,” *J. Teknol.*, vol. 14, no. 2 SE-Articles, Nov. 2020, [Online]. Available: https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/jurnal_teknologi/article/view/3254