

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, Indonesia menghasilkan 12,54 juta ton sampah plastik. Tingginya jumlah sampah plastik ini disebabkan oleh penggunaan plastik yang masih luas dalam kehidupan sehari-hari (Mujiarto dkk., 2024). Sampah plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) menjadi salah satu penyumbang pencemaran lingkungan terbesar di Indonesia, namun hingga kini solusi penanganannya masih minim. Sebagai negara penghasil sampah plastik terbesar kedua di dunia setelah China, (Purwaningrum, 2016) memperkirakan Indonesia mencatat bahwa 14% dari total sampah yang dihasilkan merupakan plastik, sementara sisanya terdiri dari sampah organik dan non-organik. Penggunaan plastik yang terus meningkat ini turut berkontribusi pada bertambahnya limbah plastik di Indonesia (Iskandar dkk., 2021). Plastik yang berasal dari nafta sebagai turunan minyak bumi, memiliki ikatan kimia kuat sehingga sulit terurai secara alami (*non-biodegradable*) (Azis dan Rante, 2021). Limbah plastik tidak hanya sulit diurai oleh bakteri, tetapi juga dapat melepaskan senyawa berbahaya pemicu kanker. Plastik, sebagai makromolekul yang terbentuk melalui polimerisasi, terutama tersusun dari karbon (C) dan hidrogen. Nafta hasil penyulingan minyak bumi menjadi bahan baku utama dalam pembuatan plastik.

Sampah plastik menjadi permasalahan bagi lingkungan karena tidak mudah terdegradasi dan membutuhkan ratusan tahun untuk dapat terdegradasi secara alami. Plastik masih memiliki nilai kalor dan apabila langsung dibakar mengakibatkan terbentuknya dioxin yang berbahaya bagi kesehatan. Plastik pada dasarnya terbuat dari minyak bumi dan dapat dikembalikan lagi menjadi minyak bumi melalui proses pirolisis (Mujiarto dkk., 2024). Pirolisis dilakukan pada temperatur tinggi tanpa adanya oksigen sama sekali (*anaerob*) atau dengan sedikit oksigen sehingga tidak memungkinkan terjadinya gasifikasi berlebihan. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Pirolisis dijalankan pada temperatur 300-500° C. Produk hasil pirolisis dapat berupa minyak (*oil*), gas dan

arang. Komposisi hasil pirolisis tergantung pada temperatur proses dan laju pemanasan (*heating rate*). Beberapa plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku adalah Poly Ethylene Terephthalate (PET), *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Poly Vinyl Chloride* (PVC), *Low Density Poly Ethylene* (LDPE), *Poly Propylene* (PP) (Ibdrayani dkk., 2021). Jenis plastik yang layak untuk dijadikan bahan bakar melalui proses pirolisis adalah plastik *high density polyethylene* (HDPE), hal ini karena sampah plastik jenis ini dalam kategori ikatan antar molekulnya terjadi secara bersilang, dengan bentuk ikatan seperti ini akan menyebabkan sampah plastik HDPE memiliki ketahanan suhu yang tinggi sehingga pada suhu optimum proses pirolisis sampah plastik HDPE akan menghasilkan volume minyak yang tinggi (waluyo dkk., 2019).

Hegedus (2021) melaporkan bahwa bahan bakar hasil pirolisis plastik HDPE, LDPE, dan PP mengandung olefin dalam kadar tinggi yang melebihi standar untuk bahan bakar. Kandungan olefin yang tinggi ini memengaruhi kualitas bahan bakar, seperti menurunkan nilai oktan, meningkatkan volatilitas yang menyebabkan bahan bakar mudah menguap, serta memicu pembentukan residu di mesin. Salah satu cara untuk mengurangi kadar olefin pada bahan bakar hasil pirolisis plastik adalah melalui proses *hydrotreatment*, yaitu hidrogenasi. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar, efisiensi pembakaran, mengurangi emisi polutan, dan memenuhi standar lingkungan yang lebih ketat. Hidrogenasi melibatkan penambahan hidrogen pada ikatan rangkap dua olefin, mengubahnya menjadi alkana jenuh yang lebih stabil, meningkatkan stabilitas bahan bakar, dan meningkatkan nilai oktannya. Zhezou *et al.* (2023) melaporkan bahwa penggunaan hidrogen (H_2) sebagai donor hidrogen adalah metode paling efektif untuk menghasilkan bahan bakar cair berkualitas tinggi. Proses ini menghasilkan 65,8% minyak dalam kisaran C6–C12, yang sangat ideal untuk aplikasi bahan bakar, serta secara signifikan meningkatkan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan melalui hidrogenasi.

Hydro-processing secara konvensional dilakukan dengan menggunakan katalis dari logam golongan VIII, seperti nikel, palladium, dan platinum, serta logam golongan VIB, seperti tungsten dan molibdenum, yang dikenal tahan dalam kondisi reaktif yang melibatkan oksigen, asam, dan basa (Bagnato *et al.*, 2021).

Hidrogen menunjukkan reaktivitas tinggi pada permukaan logam seperti kobalt (Co), nikel (Ni), palladium (Pd), platinum (Pt), dan berbagai logam lainnya. Aktivitas katalis dapat ditingkatkan dengan menambahkan logam kedua untuk memaksimalkan adsorpsi hidrogen, terutama pada suhu rendah. Beberapa bahan pendukung yang sering digunakan dalam proses ini meliputi alumina-silika, karbon aktif, dan *zirconia* (monoklinik). Dalam Industri minyak, reaksi hidrogenasi adalah proses umum untuk mengurangi kandungan oksigen, nitrogen, sulfur, olefin, dan aromatik. Reaksi ini biasanya dikatalisis oleh molibdenum yang dipadukan dengan Ni atau Co, dengan penyangga γ -Al₂O₃. Kondisi operasinya bergantung pada jenis bahan baku, sirkulasi H₂, tekanan H₂ antara 14–138 bar, dan suhu 290–470 °C (Bagnato *et al.*, 2021).

Proses hidrogenasi umumnya menggunakan katalis logam berbasis pengemban, Pengemban yang digunakan harus memiliki luas permukaan yang besar dan stabilitas termal yang baik. Salah satu pengemban katalis logam yang saat ini banyak di teliti yaitu biochar. Dibanding dengan pengemban sintesis dan komersial, biochar jauh lebih murah karena dapat diperoleh dari limbah biomassa melalui proses pirolisis. Biochar adalah produk padat dari pirolisis biomassa dan/atau gasifikasi parsial. Karena biayanya yang rendah dan porositas yang tinggi, baru-baru ini ia telah menarik perhatian yang signifikan sebagai katalis atau pendukung katalis logam untuk berbagai reaksi (Afolabi *et al.*, 2021). Visser (*et al.*, 2024) melaporkan biochar memiliki luas permukaan tinggi, porositas yang dapat disesuaikan, dan kelompok fungsional aktif, yang memungkinkan interaksi optimal dengan logam katalis untuk meningkatkan aktivitasnya. Stabilitasnya dalam kondisi asam dan basa membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi katalitik. Sebagai pendukung logam, biochar mendukung dispersi logam yang lebih baik, meningkatkan situs aktif katalitik, dan mencegah degradasi seperti *sintering* dan *fouling*, sehingga menghasilkan sinergi yang signifikan dalam proses katalitik.

Selain sampah anorganik, sampah organik juga belum dimanfaatkan secara optimum, salah satu sampah organik yang belum dimanfaatkan secara maksimal adalah limbah cangkang kelapa sawit. Sementara itu produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah biomassa berupa cangkang kelapa sawit. Cangkang Kelapa Sawit (CKS), juga dikenal sebagai cangkang kelapa sawit, adalah

bagian keras dari buah kelapa sawit yang melindungi inti kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit terdiri dari 50,7% karbon (C), 6,15% hidrogen (H), 1,71% nitrogen (N), 34,7% oksigen (O), 0,19% sulfur (S), dan 6,5% abu (Azis *et al.*, 2019). Penelitian menunjukkan bahwa PKS memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu 20.093 Kkal/Kg (Zulmi dkk., 2024). Biochar dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa, yang tidak hanya menghasilkan katalis tetapi juga membantu dalam pengelolaan limbah. Penggunaan biochar sebagai katalis mendukung prinsip ekonomi sirkular dan mengurangi dampak lingkungan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa katalis Ni/biochar yang diaktivasi dengan HNO_3 memiliki peningkatan kinerja katalitik signifikan, dengan luas permukaan meningkat dari 20,4 m^2/g menjadi 33,1 m^2/g . Hidrofobisitas yang ditingkatkan memfasilitasi adsorpsi senyawa nonpolar, sementara situs hidrofilik mendukung senyawa polar. Dalam hidrogenasi vanillin, konversi naik dari 9,1% menjadi 79,3% pada 170°C , dengan selektivitas produk utama di atas 80%. Katalis juga stabil dalam penggunaan ulang dan efisien dalam mengurangi pembentukan kokas, menjadikannya ideal untuk konversi biomassa dan aplikasi energi. Hal ini menunjukkan peningkatan konversi dan selektivitas yang signifikan dibandingkan katalis tanpa perlakuan biochar (Wang *et al.*, 2016). Menurut Ala'a *et al.* (2018), produksi biodiesel dilakukan dengan menggunakan katalis berbasis karbon yang memiliki sifat katalitik unggul. Katalis ini didukung oleh luas permukaan yang lebih besar, stabilitas termal yang lebih baik, dan efisiensi biaya yang tinggi. Selain itu, bahan berbasis biochar sangat cocok dijadikan pendukung karbon untuk fungsionalisasi logam. Hal ini disebabkan oleh stabilitasnya dalam kondisi basa dan asam, luas permukaan besar setelah melalui proses aktivasi yang mendukung tingkat dispersi tinggi, serta keberadaan berbagai gugus fungsi permukaan yang membantu meningkatkan kemampuan penahan prekursor logam (Kumar *et al.*, 2020).

Pada Penelitian Tong *et al.* (2024) Katalis Ni/Biochar unggul dalam produksi biodiesel berkat sinergi nikel dan molibdenum yang meningkatkan reaksi transesterifikasi, menghasilkan biodiesel hingga 74,66%. Katalis ini dapat digunakan ulang hingga lima kali dengan kinerja stabil, menjadikannya hemat biaya dan berkelanjutan. Hasil optimal dicapai pada suhu $75\text{--}95^\circ\text{C}$ dengan rasio metanol

terhadap minyak 10:1, menjadikannya pilihan andal untuk aplikasi industri. (Nor *et al*, 2023) menambahkan, bahwa nikel dan molibdenum membentuk kombinasi katalis yang efektif untuk hidropirolisis katalitik, dimana nikel memfasilitasi adsorpsi dan aktivasi hidrogen, mendukung proses hidrogenasi dan deoksigenasi senyawa biomassa, sehingga meningkatkan kualitas dan hasil bio-oil. Molibdenum berkontribusi pada penghilangan oksigen dari oksigenat aromatik dan meningkatkan stabilitas termal katalis, menjadikannya tahan terhadap kondisi reaksi yang keras pada suhu tinggi (450–550 °C). Efek sinergis keduanya memungkinkan fleksibilitas dalam berbagai kondisi reaksi, cocok untuk berbagai bahan baku biomassa. Selain itu, ketersediaan dan biaya rendah dibandingkan logam mulia membuat katalis Ni/Mo pilihan ekonomis dan berkelanjutan untuk konversi biomassa dan produksi energi terbarukan. Pada Penelitian Nazif dkk (2016) melaporkan pirolisis limbah plastik menggunakan katalis karbon aktif memberikan peningkatan signifikan pada kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Proses ini dilakukan pada berbagai suhu (200–350°C) dan rasio katalis terhadap plastik. Hasilnya, bahan bakar cair memiliki densitas 0,848 g/mL dan viskositas kinematik 2,248 cSt, memenuhi standar diesel komersial. Analisis GC-MS menunjukkan bahwa bahan bakar ini didominasi oleh hidrokarbon fraksi diesel (C8–C21), mencapai 80,81% dengan katalis dan 87,62% tanpa katalis. Nilai kalor bahan bakar cair mencapai 44.903 kJ/kg, mendekati nilai diesel standar sebesar 42.000 kJ/kg. Penambahan katalis membantu memecah rantai polimer plastik menjadi molekul yang lebih kecil, meningkatkan yield bahan bakar cair hingga 59,35% pada kondisi optimal, menjadikannya bahan bakar yang kompetitif dan memenuhi standar kualitas komersial.

Berdasarkan uraian yang diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan **“Upgrading Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik HDPE Melalui Reaksi Hidrogenasi Menggunakan Katalis Heterogen Berbasis Ni/Biochar Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit”**. Diharapkan penelitian ini dapat mengembangkan teknologi untuk mengonversi limbah plastik HDPE menjadi bahan bakar berkualitas tinggi menggunakan katalis Ni berbasis biochar dari cangkang kelapa sawit, yang mendukung reaksi hidrogenasi untuk menghasilkan bahan bakar cair ramah lingkungan.

1.2 Batasan Masalah

Untuk memastikan keefektifan dan pencapaian tujuan yang diinginkan, penelitian akan difokuskan pada batasan-batasan tertentu yaitu:

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*).
2. Konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair dilakukan melalui proses pirolisis
3. Katalis yang digunakan adalah katalis logam Ni yang diimbangkan pada biochar dari Cangkang Kelapa Sawit.
4. Parameter yang diuji meliputi karakteristik fisik dan kimia dari bahan bakar cair hasil upgrading.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana karakteristik katalis Ni/biochar untuk produksi *upgrading* bahan bakar dari limbah plastik?
2. Bagaimana pengaruh rasio katalis yang digunakan terhadap hasil bahan bakar cair dari proses *upgrading* limbah plastik?
3. Bagaimana karakteristik fisika kimia bahan bakar cair hasil *upgrading* limbah plastik menggunakan katalis Ni/biochar?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui karakteristik katalis Ni/biochar untuk produksi *upgrading* bahan bakar dari limbah plastik.
2. Mengetahui pengaruh rasio katalis yang digunakan terhadap hasil bahan bakar cair dari proses *upgrading* limbah plastik.
3. Mengetahui karakteristik fisika kimia bahan bakar cair hasil *upgrading* limbah plastik menggunakan katalis Ni/biochar.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan solusi alternatif dalam penanganan limbah plastik HDPE melalui konversi menjadi bahan bakar cair alternatif.
2. Mengembangkan metode upgrading bahan bakar cair dari limbah plastik melalui reaksi hidrogenasi menggunakan katalis logam berbasis biochar dari limbah Cangkang Kelapa Sawit.
3. Pmenfaatan limbah Cangkang Kelapa Sawit menjadi produk biochar, yang digunakan sebagai pengemban katalis logam.
4. Menganalisis proses upgrading bahan bakar cair dari limbah plastik melalui proses yang lebih efektif dan efesien serta ramah lingkungan.



THE
Character Building
UNIVERSITY