

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat konsumsi dan produksi sampah plastik yang tergolong tinggi di dunia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2025, komposisi sampah plastik di Indonesia mencapai 19,95% dari total timbulan sampah nasional, menjadikannya jenis sampah terbesar kedua setelah sampah makanan. Sementara itu, berdasarkan data SPSN yang dikelola Kementerian Lingkungan Hidup per 17 April 2025, tercatat ada 33,621 juta ton timbulan sampah per tahun, di mana sekitar 10,8 juta ton atau hampir 20% dari total sampah nasional merupakan plastik, dan dari jumlah itu sebesar 39,91% tidak terkelola dengan baik. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan sampah plastik di Indonesia masih jauh dari kata terselesaikan dan membutuhkan penanganan yang lebih serius serta berkelanjutan.

Salah satu faktor utama yang mendorong meningkatnya volume sampah plastik adalah pertumbuhan jumlah penduduk yang terus bertambah setiap tahunnya. Menurut data Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Dukcapil) Kementerian Dalam Negeri per semester I tahun 2025, jumlah penduduk Indonesia telah mencapai 286.693.693 jiwa, meningkat sekitar 1,7 juta jiwa dibandingkan akhir tahun 2024. Menurut (Sabitah et al., 2024), meningkatnya konsumsi penggunaan plastik juga merupakan konsekuensi dari perkembangan industri, teknologi, dan populasi. Dengan demikian, peningkatan penggunaan plastik akibat penambahan penduduk dan aktivitas industri perlu diimbangi dengan pengelolaan limbah yang tepat agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Permasalahan sampah plastik tidak hanya sebatas pada volume yang terus meningkat, tetapi juga pada sifatnya yang sangat sulit terurai secara alami. Plastik merupakan bahan yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme. Kondisi tersebut diperparah oleh kebiasaan penanganan sampah plastik yang masih konvensional. Cara yang sering digunakan masyarakat adalah membakar atau menimbun sampah

plastik. Padahal, pembakaran sampah plastik akan menghasilkan gas beracun yang berbahaya bagi pernapasan, sedangkan penimbunan dapat menyebabkan pencemaran tanah (Rizki & Adriyani, 2025). Oleh karena itu, diperlukan teknologi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan mampu memberikan nilai tambah dari limbah plastik.

Penggunaan plastik tidak hanya terbatas pada kebutuhan rumah tangga, tetapi juga meluas hingga ke sektor industri manufaktur dan konstruksi. Salah satu contohnya adalah dalam industri pipa baja, di mana plastik berperan penting sebagai material pelapis pada sistem pelapisan 3LPE (Three Layer Polyethylene). Sistem ini menggunakan biji plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) yang dipanaskan hingga meleleh, kemudian dituangkan ke atas pipa baja dan didinginkan hingga mengeras. Proses produksi 3LPE tersebut kerap menyisakan limbah berupa serbuk biji plastik (*avfal*) dan potongan *cut back* yang telah terkontaminasi *epoxy* dan perekat, sehingga tidak dapat langsung digunakan kembali. Selama ini limbah tersebut seringkali hanya dibiarkan menumpuk atau dijual dalam kondisi apa adanya tanpa pengelolaan lebih lanjut. Kondisi inilah yang menjadi salah satu latar belakang perlunya penelitian pemanfaatan limbah plastik campuran PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) termasuk HDPE dari sisa proses industri menjadi produk yang lebih bernilai.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menangani permasalahan sampah plastik, mulai dari pendekatan 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*) hingga teknologi termokimia seperti gasifikasi, insenerasi, dan pirolisis (Febriani et al., 2022). Di antara berbagai teknologi tersebut, pirolisis menjadi salah satu yang paling menjanjikan karena mampu mengonversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak (*bio-oil*) melalui proses pemanasan tanpa oksigen. Pirolisis merupakan proses *thermal cracking*, yaitu pemecahan rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses termal dengan sedikit atau tanpa oksigen (Megaprastio et al., 2023). Menurut (Aladin et al., 2023) pirolisis adalah proses degradasi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen yang membutuhkan suhu antara 300–500°C untuk menghasilkan gas yang kemudian dikondensasikan dan disuling menjadi minyak serta residu berupa arang. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis berupa zat padat (*bio-char*), zat cair (*bio-oil*), dan gas (*bio-gas*).

Jenis plastik yang paling banyak digunakan dan berpotensi diolah melalui pirolisis adalah PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*), termasuk di dalamnya HDPE (*High Density Polyethylene*). Kedua jenis plastik ini tergolong dalam kelompok poliolefin yang memiliki kandungan energi tinggi, sehingga sangat berpotensi menghasilkan bio-oil dengan nilai kalor mendekati bahan bakar fosil konvensional. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa pirolisis campuran PP dan HDPE menghasilkan minyak dengan karakteristik yang cukup baik. (Manumayoso et al., 2024) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa pengolahan sampah plastik jenis PP, PET, dan PE melalui pirolisis mampu menghasilkan bahan bakar minyak dengan karakteristik mendekati bahan bakar komersial. Selain itu, pirolisis LDPE dan PP dengan katalis zeolit alam pada suhu 325°C selama 4 jam terbukti menghasilkan minyak pirolisis dengan parameter densitas, viskositas kinematik, dan nilai kalor.

Upaya meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil minyak dari proses pirolisis, penggunaan katalis menjadi salah satu solusi yang banyak diteliti. Katalis berfungsi menurunkan suhu reaksi, mempercepat proses *cracking*, serta meningkatkan selektivitas produk yang dihasilkan. Salah satu katalis yang banyak dikaji adalah zeolit alam, yang dikenal karena sifat keasamannya, luas permukaan yang besar, serta kemampuannya dalam memecah rantai hidrokarbon panjang menjadi fraksi yang lebih ringan. Penelitian yang dilakukan (Pratiwi & Dahani, 2015) menunjukkan bahwa penggunaan katalis zeolit alam pada pirolisis limbah plastik HDPE dapat meningkatkan rendemen hasil sekaligus menurunkan suhu proses, sehingga didapatkan produk cair yang mendekati karakteristik bahan bakar bensin. Sementara itu, penelitian (Anggono et al., 2020) dalam Jurnal Energi dan Manufaktur Universitas Udayana juga menunjukkan bahwa katalis zeolit alam berpengaruh signifikan pada proses pirolisis plastik PET dan PP dalam meningkatkan kualitas produk minyak yang dihasilkan.

Di antara berbagai jenis zeolit alam yang ada, clinoptilolite merupakan salah satu mineral zeolit yang paling banyak tersedia di alam dan memiliki karakteristik yang menarik sebagai katalis. *Clinoptilolite* memiliki struktur kristal dengan rasio Si/Al yang relatif tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, serta pori-pori berukuran mikro yang seragam, sehingga memungkinkan terjadinya selektivitas

reaksi yang baik dalam proses cracking hidrokarbon. Penelitian yang dilakukan oleh (Dziedzicka et al., 2016) dalam jurnal *Catalysis Today* menunjukkan bahwa clinoptilolite yang telah dimodifikasi memiliki sifat katalitik dan fisikokimia yang unggul untuk berbagai aplikasi. Potensi clinoptilolite sebagai katalis pirolisis ini membuka peluang besar untuk diaplikasikan pada pengolahan limbah plastik PP dan PE campuran HDPE dari industri.

Meskipun potensi zeolit sebagai katalis dalam proses pirolisis plastik sudah banyak diteliti, kajian spesifik mengenai pengaruh variasi persentase zeolit clinoptilolite terhadap karakteristik hasil minyak dari limbah plastik PP dan PE campuran HDPE masih sangat terbatas. Penambahan katalis zeolit dengan persentase yang berbeda-beda terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas, viskositas, nilai kalor, dan yield minyak yang dihasilkan.

Studi literatur oleh (Sania & Rubianto, 2023) juga menunjukkan bahwa jumlah katalis zeolit alam dalam proses pirolisis mempengaruhi yield produk cair, dengan konsentrasi optimal yang bervariasi tergantung pada jenis plastik yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian yang lebih mendalam mengenai optimasi variasi zeolit *clinoptilolite* pada pirolisis limbah PP dan PE campuran HDPE sangat diperlukan untuk mendapatkan kondisi proses yang optimal.

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, penelitian ini bermaksud mengkaji pengaruh variasi zeolit alam jenis clinoptilolite sebagai katalis dalam proses pirolisis limbah plastik PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) campuran HDPE terhadap karakteristik hasil minyak yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam upaya pengelolaan limbah plastik industri yang lebih berkelanjutan, sekaligus menghasilkan alternatif bahan bakar yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Dengan mengoptimalkan variasi persentase zeolit *clinoptilolite*, diharapkan diperoleh kondisi pirolisis yang mampu menghasilkan minyak dengan kualitas terbaik mendekati standar bahan bakar komersial.

Penelitian dengan judul " Pengaruh Variasi Campuran Katalis Zeolit Pada Limbah PP (*Polypropylane*) Dan PE (*Polyethylane*) Terhadap Karakteristik Fisik Pada Bahan Bakar Cair Dengan Proses Pirolisis" dirasa perlu untuk dilaksanakan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data empiris yang akurat mengenai

pengaruh variasi katalis zeolit pirolisis terhadap kualitas fisik produk bahan bakar cair. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan kondisi operasi pirolisis yang optimal untuk menghasilkan bahan bakar cair dari limbah PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) dengan karakteristik densitas, viskositas, dan nilai kalor yang memenuhi atau mendekati standar bahan bakar nasional (SNI) dan Standar internasional (ASTM), sehingga dapat memberikan kontribusi nyata dalam penanganan masalah limbah plastik dan krisis energi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil penambahan katalis pada karakteristik nilai densitas yang dihasilkan dari masing-masing sampel dan membandingkan dengan standart SNI?
2. Bagaimana hasil penambahan katalis pada karakteristik nilai viskositas yang dihasilkan dari masing-masing sampel dan membandingkan dengan standart SNI?
3. Bagaimana hasil penambahan katalis pada karakteristik nilai kalor yang dihasilkan dari masing-masing sampel dan membandingkan dengan standart SNI?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan bahan limbah plastik gelas PP (*Polypropylene*) dan limbah avfal industri PE (*Polyethylene*) campuran HDPE sebagai bahan minyak.
2. Penelitian ini hanya fokus terhadap perbandingan nilai densitas ,viskositasdan nilai kalor pada masing masing bahan.
3. Minyak diproduksi menggunakan metode pirolisis.
4. Proses pirolisis dilakukan dengan perbandingan katalis zeolit *clinoptilolite* sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan 2 Kg PP (*Polypropylene*) dan limbah produksi avfal PE (*Polyethylene*) dengan rasio plastik yaitu 50:50
5. Pirolisis dilakukan pada suhu ,550°C serta waktu pirolisis di tahan selama 120 menit ketika keluar cairan minyak.
6. Analisis hasil pirolisis dibatasi hanya pada sifat fisik produk, yang meliputi

viskositas, densitas, dan nilai kalor hasil pirolisis. Analisis kimia tidak diteliti karena fokus hanya evaluasi fisik hasil pirolisis sebagai indikator kualitas bahan bakar alternatif.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik nilai densitas pada minyak yang dihasilkan dari masing-masing sampel PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) campuran HDPE, apakah sesuai standar SNI, melalui proses pirolisis.
2. Mengetahui karakteristik nilai viskositas pada minyak yang dihasilkan dari masing-masing sampel PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) campuran HDPE, apakah sesuai standar SNI, melalui proses pirolisis.
3. Mengetahui karakteristik nilai kalor pada minyak yang dihasilkan dari masing-masing sampel PP (*Polypropylene*) dan PE (*Polyethylene*) campuran HDPE, apakah sesuai standar SNI, melalui proses pirolisis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini akan memberikan data fundamental mengenai karakteristik fisik minyak pirolisis (viskositas, densitas, dan nilai kalor) dari PP dan PE campuran HDPE dengan variasi katalis, sehingga dapat menentukan parameter operasi optimal untuk menghasilkan bahan bakar dengan kualitas terdekat dengan standar bahan bakar konvensional.
2. Temuan penelitian ini akan menjadi data ilmiah untuk pengembangan standar kualitas bahan bakar dari limbah plastik serta mendukung formulasi kebijakan daur ulang kimia yang efektif, sekaligus memberikan solusi nyata dalam mengatasi masalah limbah plastik dan ketahanan energi secara berkelanjutan.