BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah plastik menimbulkan masalah lingkungan akibat karakteristiknya yang bersifat *non-biodegradable* dengan waktu dekomposisi alami yang mencapai ratusan tahun, dari sudut pandang termal meskipun plastik memiliki nilai yang signifikan, proses pembakarannya secara langsung justru menghasilkan senyawa berbahaya seperti dioksin akibat pembakaran yang tidak terkontrol(Wardhana et al. 2022). Secara global, volume limbah plastik meningkat secara proporsional dengan tingkat konsumsinya, dimana plastik telah menjadi material dominan dalam alur limbah harian di berbagai negara, termasuk Indonesia, sebagai konsekuensi dari aplikasinya yang luas dalam sistem produksi dan konsumsi masyarakat modern(Zainuddin 2023).

High Density Polyethylene (HDPE) merupakan jenis polimer yang paling *prevalen* dalam aliran limbah plastik, secara material HDPE menawarkan kombinasi sifat mekanik dan kimia yang unggul antara lain rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketahanan kimia yang baik, dan kemudahan proses *forming*(Siregar et al. 2025). Karakteristik teknis inilah yang mendasari pemanfaatannya secara luas sebagai material baku utama dalam manufaktur berbagai produk konsumen, mulai dari kemasan *rigid* (galon air, botol minuman) hingga *flexible packaging* (kantong plastik), pada skala industri, sifat-sifat unggul HDPE, *chemical inertness*, dan kemampuan proses *manufacturing* yang efisien telah menempatkannya sebagai material pilihan strategis, cakupan aplikasinya meliputi berbagai sektor industri, dimana di Indonesia, material ini telah terintegrasi secara komprehensif dalam rantai nilai ekonomi, menunjukkan tingkat adopsi dan adaptabilitas yang signifikan(Solahudin et al. 2025).

Tingginya volume utilisasi HDPE tidak diimbangi dengan pengembangan sistem manajemen limbah *end-of-life* yang efektif, sehingga memicu akumulasi material di lingkungan(Siregar dan Acmi 2022). Ekspansi aplikasi HDPE ini secara paralel memperburuk tantangan dalam tata kelola limbah polimer, kondisi ini

menguatkan urgensi penerapan prinsip ekonomi sirkular dan praktik daur ulang secara sistematis dalam menangani limbah plastik di Indonesia, lebih lanjut, karakteristik intrinsik HDPE sebagai material dengan stabilitas kimia tinggi dan ketahanan terhadap degradasi biologis.(Masyruroh dan Rahmawati 2021)

Sifat *non-biodegradable* ini menyebabkan residu HDPE dapat bertahan di lingkungan selama ratusan tahun menjadikannya kontaminan persisten dalam ekosistem, oleh karena itu tantangan pengelolaan limbah HDPE bersifat kritis dan memerlukan solusi berkelanjutan, mengingat imperatif untuk menerapkan daur ulang yang bertanggung jawab guna meminimalisasir dampak lingkungan (Dhamayanthi et al. 2024) Sebagai solusi *engineering,* konversi termokimia limbah plastik melalui proses pirolisis menawarkan pendekatan yang *feasible* untuk menghasilkan bahan bakar hidrokarbon alternatif.(Kartika 2022) Kelayakan teknis proses ini didasarkan pada sifat dasar plastik sebagai turunan petroleum yang memiliki nilai setara dengan bahan bakar fosil konvensional, pendekatan pirolisis lebih lanjut dikonfirmasi sebagai metode yang efektif dalam menangani akumulasi limbah plastik sekaligus memberikan nilai ekonomis, dimana proses ini mampu mereduksi volume limbah secara signifikan sambil menghasilkan produk energi yang bermanfaat bagi masyarakat.(Indrayani et al. 2021)

Pirolisis didefinisikan sebagai proses dekomposisi termal rantai polimer menjadi senyawa hidrokarbon bernilai lebih rendah, yang berlangsung dalam kondisi *anaerob* (tanpa oksigen) atau dengan oksigen terbatas(Cahyono, Haryono, dan Mandala 2021). Secara teknis, proses ini mengonversi limbah plastik menjadi tiga fasa produk: bahan bakar cair (*pyrolysis oil*), gas yang dapat terbakar (*syngas*), dan residu padatan karbon (*char*). Dalam implementasinya, efisiensi konversi dan kualitas produk pirolisis sangat dipengaruhi oleh parameter proses, dengan suhu reaktor sebagai variabel kritis, suhu operasi secara langsung menentukan distribusi produk, *yield*, dan sifat fisiko-kimia *pyrolysis oil* (Wajdi et al. 2020). Penelitian ini memiliki signifikansi strategis ganda: di satu sisi berkontribusi dalam pengembangan energi alternatif yang berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan di sisi lain menawarkan solusi

pengelolaan limbah yang efektif dan ramah lingkungan(Lubis, Arifin, dan Fitrianingsih 2022).

Secara teknis, mekanisme reaksi pirolisis polietilena melibatkan proses perengkahan termal rantai polimer menjadi fraksi hidrokarbon yang lebih ringan, sebagaimana tergambarkan dalam skema reaksi yang ada, untuk memurnikan produk cair hasil pirolisis, dapat diterapkan teknologi pemisahan distilasi yang bekerja berdasarkan prinsip perbedaan titik didih komponen dalam campuran, proses *engineering* ini memanfaatkan sifat volatilitas relatif masing-masing senyawa untuk memisahkan fraksi-fraksi hidrokarbon melalui tahapan penguapan selektif dan kondensasi bertingkat(Hastuty dan Rahmad 2022). Dalam implementasinya, distilasi menawarkan keunggulan teknis berupa tidak diperlukannya bahan aditif dalam proses pemurnian pada skala laboratorium, operasi distilasi sederhana dilakukan dengan mengumpulkan *crude liquid* hasil pirolisis dalam labu distilasi, kemudian diaplikasikan pemanasan terkendali hingga mencapai titik didih masing-masing fraksi, uap yang terbentuk akan dikondensasi secara fase demi fase, menghasilkan produk hidrokarbon terpisah dengan kemurnian lebih tinggi(Gunamawan 2022).

Penelitian oleh Gebrehiwot dkk. (2025) di *Aalto University School of Engineering* mengkarakterisasi sifat mekanik material HDPE terhadap variasi temperatur pada eksperimen menerapkan laju regangan referensi ($\varepsilon\dot{}r$) sebesar 0,0249/s pada rentang temperatur 20 hingga 70 °C, dengan 20 °C ditetapkan sebagai temperatur referensi (Tr) untuk mengkuantifikasi koefisien sensitivitas regangan (C), dilakukan pengujian tambahan pada Tr dengan variasi laju regangan: 0,00196/s, 0,0049/s, dan 0,0098/s. Rig pengujian terdiri dari *Universal Testing Machine* (UTM) *Testometric* X350-20 berpresisi tinggi. Kondisi termal dikontrol menggunakan *thermal chamber* TK 765 yang diintegrasikan dengan *digital temperature controller Omron E5AC* dan *controller TH2700*, validasi temperatur spesimen dilakukan secara *in-situ* menggunakan *digital thermometer Amprobe* TMD-56 untuk memastikan akurasi pengukuran, temuan dari studi karakteristik termo-mekanis material semacam ini menjadi basis data kritis untuk optimasi

proses termal seperti pirolisis, kontrol temperatur yang presensif terbukti determinan terhadap kualitas dan *yield* produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Studi pendahuluan menunjukkan bahwa setiap jenis polimer memiliki karakteristik dekomposisi termal yang berbeda, dimana temperatur optimum untuk konversi maksimum bervariasi antara 450-550℃. Penelitian ini menerapkan variasi temperatur untuk mengoptimalkan *yield* minyak pirolisis dan mengontrol distribusi produk (gas, cair, padat) sesuai dengan karakteristik *thermal degradation* masing-masing polimer(Suhartoyo 2021). Analisis kinetika reaksi juga menunjukkan bahwa rentang temperatur yang tepat dapat meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan seperti *char* berlebih atau gas *non-kondensabel* dengan demikian, pendekatan variasi temperatur ini tidak hanya penting untuk menentukan kondisi operasi optimal, tetapi juga krusial untuk memahami mekanisme dasar dekomposisi termal plastik campuran dalam pengembangan reaktor pirolisis yang efisien(Riesco-avila et al. 2022).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan ilmiah dalam pengambilan keputusan untuk pengembangan bahan bakar cair berkelanjutan dari pirolisis HDPE di Indonesia, dengan menyajikan data teknis kritis meliputi, densitas, laju pembakaran (*burning rate*), dan volume hasil, guna mendorong pemanfaatan limbah plastik secara optimal serta berkontribusi pada diversifikasi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap volume hasil pirolisis sampah plastik HDPE?
2. Bagaimana perbedaan laju pembakaran pada bahan bakar cair hasil dari variasi suhu pirolisis sampah plastik HDPE?
3. Pada suhu berapakah proses pirolisis menghasilkan nilai densitas yang mendekati bahan bakar solar?

1.3 Batasan Masalah

1. Jenis plastik yang digunakan hanya HDPE.

2. Parameter yang dianalisis meliputi volume hasil pirolisis, densitas, dan laju pembakaran (burning rate).
3. Jenis reaktor yang digunakan adalah tipe batch.
4. Variasi suhu pirolisis yang diuji dalam penelitian terbatas pada rentang tertentu (250°C, 350°C, dan 450°C).
5. Proses pengujian setiap variasi suhu dilakukan dengan waktu tetap 60 menit.
6. Pengujian dilakukan di lokasi Mitra Kecamatan Puger

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian untuk tugas akhir ini adalah:

1 Mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap volume bahan bakar cair yang dihasilkan dari pirolisis HDPE.

2 Menganalisis nilai-nilai parameter densitas, dan *burning rate*.bahan bakar air hasil pirolisis pada suhu yang berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1 Penelitian ini menghasilkan data kinetika reaksi dan laju dekomposisi termal HDPE yang kritis untuk perhitungan desain reaktor dan optimasi proses pirolisis. Data empiris hubungan kuantitatif antara suhu dengan *yield* dan sifat produk cair ini menjadi dasar teknis untuk menyeimbangkan neraca massa-energi dan menentukan parameter operasi yang paling efisien

2 Mengkaji kelayakan teknis bahan bakar cair sebagai produk akhir melalui analisis mendalam terhadap karakteristik performanya yang meliputi aspek pembakaran, stabilitas penyimpanan, dan kompatibilitas material

3 Investigasi terhadap pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap sifat-sifat teknis produk ini penting untuk memberikan rekomendasi mengenai kebutuhan proses *upgrading* lebih lanjut, potensi *blending* dengan bahan bakar konvensional, atau kesiapan pakai untuk aplikasi *engineering* yang spesifik.

1.6 Hipotesis

Terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi suhu pirolisis terhadap volume hasil, nilai densitas, dan *burning rate* bahan bakar cair yang dihasilkan dari plastik HDPE.