

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah plastik rumah tangga merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perubahan pola konsumsi, serta tingginya penggunaan kemasan sekali pakai. Plastik banyak digunakan dalam aktivitas domestik karena memiliki sifat ringan, kuat, murah, mudah dibentuk, dan praktis digunakan untuk berbagai kebutuhan. Namun, sifat tersebut menjadi persoalan ketika plastik telah menjadi limbah, sebab sebagian besar plastik sulit terurai secara alami dan membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mengalami degradasi. Kondisi ini menyebabkan sampah plastik berpotensi menumpuk di lingkungan, mencemari tanah dan air, serta menambah beban tempat pembuangan akhir. Data Kementerian Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup menunjukkan bahwa timbulan sampah Indonesia pada tahun 2023 mencapai 56,63 juta ton, tetapi baru 39,01% atau 22,09 juta ton yang dikelola secara layak. [1]

Pengelolaan sampah plastik secara konvensional, seperti penimbunan di tempat pembuangan akhir dan pembakaran terbuka, belum mampu menyelesaikan permasalahan secara optimal. Penimbunan hanya memindahkan beban sampah ke lokasi pembuangan, sedangkan pembakaran terbuka dapat menghasilkan asap dan emisi yang berbahaya bagi lingkungan serta kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan sampah plastik yang tidak hanya mampu mengurangi volume limbah, tetapi juga dapat menghasilkan produk yang memiliki nilai guna. Salah satu teknologi yang banyak dikaji dalam pengolahan sampah plastik adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal material organik pada kondisi tanpa atau minim oksigen untuk menghasilkan produk berupa minyak, gas, dan residu padat. [2] [3]

Pirolisis plastik bekerja melalui proses pemanasan yang menyebabkan rantai polimer panjang pada plastik terurai menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana. Produk hasil pirolisis dipengaruhi oleh jenis plastik, suhu operasi,

waktu tinggal, jenis reaktor, penggunaan katalis, serta sistem kondensasi yang digunakan [4], [5]. Beberapa kajian terbaru menunjukkan bahwa pirolisis memiliki potensi sebagai teknologi konversi limbah plastik menjadi produk bernilai, terutama minyak pirolisis yang dapat dikaji lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif [6], [7]. Namun, penerapan pirolisis tidak hanya membutuhkan pemahaman terhadap karakteristik bahan baku, tetapi juga membutuhkan rancangan alat yang mampu bekerja secara aman, sederhana, dan terkendali.

Dalam bidang teknik mesin, persoalan utama pada penerapan pirolisis skala kecil terletak pada bagaimana alat dirancang, dibuat, dan diuji agar proses pemanasan, penguapan, serta kondensasi dapat berlangsung sesuai fungsi. Mesin pirolisis plastik skala kecil membutuhkan beberapa komponen utama, yaitu reaktor sebagai ruang pemanasan bahan baku, rangka penopang, sistem pemanas, saluran uap, kondensor, media pendingin, dan wadah penampung minyak. Setiap komponen tersebut harus dirancang secara terintegrasi agar alat mampu bekerja dengan baik. Penelitian rancang bangun reaktor fixed bed untuk pirolisis LDPE menunjukkan bahwa reaktor tipe batch dapat disesuaikan untuk kebutuhan skala rumah tangga karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, dan mudah dipindahkan. [8]

Reaktor fixed bed dipilih dalam penelitian ini karena memiliki konstruksi yang relatif sederhana, mudah difabrikasi, dan sesuai untuk sistem batch. Sistem batch memungkinkan bahan baku plastik dimasukkan ke dalam reaktor dalam jumlah tertentu, kemudian diproses melalui satu siklus pemanasan. Pada skala kecil, sistem ini lebih mudah diterapkan dibandingkan sistem kontinu karena tidak membutuhkan mekanisme pemasukan bahan baku secara terus-menerus. Selain itu, sistem pemanas berbahan bakar LPG dipilih karena mudah diperoleh, mudah dioperasikan, dan sesuai untuk kebutuhan pengujian awal prototipe. Dalam penelitian ini, reaktor dirancang dengan kapasitas operasi 2 kg/batch, diameter 280 mm, tinggi 360 mm, dan tebal 5 mm.

Selain reaktor, kondensor merupakan komponen penting dalam mesin pirolisis karena berfungsi mengubah uap hasil pemanasan plastik menjadi cairan minyak pirolisis. Kondensor spiral digunakan karena bentuk spiral memiliki

lintasan aliran uap yang lebih panjang dan bidang kontak pendinginan yang lebih besar dibandingkan pipa lurus. Dengan lintasan tersebut, uap pirolisis diharapkan memiliki waktu kontak yang cukup dengan media pendingin air sehingga proses pengembunan dapat berlangsung lebih baik. Penelitian mengenai kondensor spiral berpendingin air pada pirolisis plastik menunjukkan bahwa rancangan kondensor berperan penting dalam menangkap uap pirolisis agar berubah menjadi kondensat cair [9]. Dalam penelitian ini, ukuran kondensor dengan diameter pipa kondensor 5/16 inci, panjang pipa kondensor 200 cm, dan jumlah lilitan kondensor 10 lilitan.

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada sampah plastik rumah tangga jenis low-density polyethylene atau LDPE dan polypropylene atau PP. Kedua jenis plastik tersebut banyak ditemukan pada aktivitas rumah tangga, seperti kantong plastik, kemasan makanan, wadah plastik, dan tutup botol. LDPE dan PP juga termasuk jenis plastik yang sering dikaji dalam penelitian pirolisis karena tersusun dari rantai hidrokarbon yang dapat terurai melalui proses pemanasan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa suhu operasi, massa umpan, dan waktu proses dapat memengaruhi jumlah produk minyak yang dihasilkan dari pirolisis plastik, termasuk pada plastik LDPE dan PP [10], [11].

Berdasarkan desain alat yang telah dibuat, penelitian ini diarahkan pada rancang bangun dan uji kinerja awal mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil dengan reaktor fixed bed dan kondensor spiral. Fokus penelitian tidak diarahkan pada analisis kimia minyak pirolisis secara mendalam, seperti GC-MS, nilai kalor, viskositas, densitas, atau emisi gas, melainkan pada perancangan alat, realisasi prototipe, fungsi komponen, serta pengujian kinerja awal alat. Parameter kinerja yang diamati meliputi kemampuan alat mencapai suhu operasi, kestabilan suhu, waktu proses, volume minyak pirolisis yang dihasilkan, dan fungsi kondensor spiral. Hasil pengujian dengan suhu operasi 100°C - 250°C, waktu proses 2 jam, volume minyak LDPE 250 ml, dan volume minyak PP 80 ml.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan prototipe mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil yang sederhana, mudah difabrikasi, dan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan alat pengolahan sampah plastik pada skala kecil. Kebaruan penelitian ini terletak pada realisasi desain alat yang

memadukan reaktor fixed bed, sistem pemanas LPG, dan kondensor spiral dalam satu konfigurasi prototipe sederhana. Penelitian ini penting dilakukan karena kajian pirolisis plastik tidak hanya membutuhkan pembahasan pada aspek hasil minyak, tetapi juga pada aspek rekayasa alat agar proses pirolisis dapat diterapkan secara lebih praktis pada skala kecil [3], [12], [13], [14].

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan dalam penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut.

1. Sampah plastik rumah tangga masih menjadi persoalan lingkungan karena jumlahnya terus meningkat dan sulit terurai secara alami. Plastik jenis LDPE dan PP banyak ditemukan dalam aktivitas rumah tangga, sehingga diperlukan teknologi pengolahan yang mampu mengurangi beban limbah plastik tersebut.
2. Metode pengelolaan konvensional seperti penimbunan dan pembakaran terbuka belum mampu menjadi solusi yang optimal. Penimbunan dapat menambah beban tempat pembuangan akhir, sedangkan pembakaran terbuka berisiko menimbulkan pencemaran udara dan gangguan kesehatan.
3. Pirolisis memiliki potensi sebagai alternatif pengolahan sampah plastik, tetapi penerapannya pada skala kecil membutuhkan mesin yang sederhana, aman, mudah dibuat, dan mudah dioperasikan. Oleh karena itu, diperlukan rancangan mesin pirolisis yang sesuai untuk kebutuhan pengujian skala kecil.
4. Proses pirolisis membutuhkan reaktor yang mampu menahan suhu operasi dan menjaga kondisi minim oksigen. Reaktor fixed bed dipilih karena konstruksinya sederhana dan sesuai untuk sistem batch, tetapi tetap perlu dirancang dan diuji agar dapat bekerja sesuai fungsi.
5. Uap hasil pirolisis perlu dikondensasikan secara efektif agar dapat berubah menjadi minyak pirolisis. Oleh sebab itu, kondensor spiral menjadi bagian penting dalam rancangan alat karena berfungsi sebagai sistem pendingin uap pirolisis.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan prototipe mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil dengan reaktor fixed bed dan kondensor spiral?
2. Bagaimana spesifikasi komponen utama mesin pirolisis yang dibuat, meliputi rangka, reaktor, sistem pemanas LPG, saluran uap, kondensor spiral, wadah pendingin, dan penampung minyak?
3. Bagaimana kinerja awal mesin pirolisis berdasarkan pencapaian suhu operasi, kestabilan suhu, waktu proses, volume minyak pirolisis, dan fungsi kondensor spiral?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka batasan masalah yang ditetapkan adalah:

1. Penelitian difokuskan pada rancang bangun dan uji kinerja awal prototipe mesin pirolisis plastik skala kecil.
2. Desain alat dibuat menggunakan perangkat lunak desain teknik sebagai dasar visualisasi bentuk, susunan komponen, dan pembuatan gambar kerja.
3. Bahan baku yang digunakan dibatasi pada sampah plastik rumah tangga jenis LDPE dan PP yang telah dibersihkan dan dipotong kecil.
4. Sistem pirolisis yang digunakan adalah sistem batch, yaitu bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor dalam jumlah tertentu pada setiap proses pengujian.
5. Reaktor yang digunakan adalah reaktor fixed bed dengan sistem pemanasan tidak langsung menggunakan bahan bakar LPG.
6. Kondensor yang digunakan adalah kondensor spiral dengan media pendingin air.
7. Pengujian dilakukan pada tekanan atmosfer, tanpa sistem vakum, tanpa gas inert, dan tanpa penggunaan katalis.
8. Parameter pengujian meliputi suhu operasi, kestabilan suhu, waktu proses,

volume minyak pirolisis, fungsi kondensor, serta pengamatan fisik minyak berupa warna, bau, dan kemampuan menyala.

9. Penelitian ini tidak membahas analisis GC-MS, nilai kalor, viskositas, densitas, emisi gas, analisis ekonomi, maupun kelayakan komersial alat.
10. Analisis kekuatan rangka tidak dilakukan menggunakan simulasi FEM/CAE, tetapi rangka dibahas sebagai bagian dari konstruksi penopang alat berdasarkan fungsi, material, dimensi, dan kestabilan saat pengoperasian.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan prototipe mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil dengan reaktor fixed bed dan kondensor spiral. Penelitian ini juga bertujuan menyusun spesifikasi komponen utama mesin yang meliputi rangka, reaktor, sistem pemanas LPG, saluran uap, kondensor spiral, wadah pendingin, dan penampung minyak.
2. Selain itu, penelitian ini bertujuan menguji kinerja awal mesin pirolisis berdasarkan kemampuan alat mencapai suhu operasi, kestabilan suhu selama proses, waktu proses, volume minyak pirolisis yang dihasilkan, serta fungsi kondensor spiral dalam mengembunkan uap pirolisis menjadi cairan. Dengan tujuan tersebut, penelitian ini diarahkan pada aspek perancangan, realisasi, dan evaluasi awal kinerja alat, bukan pada analisis kimia mendalam terhadap minyak pirolisis.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, praktis, dan akademis sebagai berikut.

1.6.1 Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik mesin, khususnya pada kajian rancang bangun mesin pirolisis plastik skala kecil. Penelitian ini juga dapat menjadi

referensi awal bagi mahasiswa atau peneliti yang ingin mengembangkan alat pengolahan sampah plastik berbasis proses termal.

1.6.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan prototipe mesin pirolisis sederhana yang dapat digunakan untuk mengolah sampah plastik rumah tangga jenis LDPE dan PP. Dari sisi lingkungan, penelitian ini memberikan alternatif pendekatan dalam pengurangan sampah plastik melalui proses pirolisis skala kecil.

Bagi penelitian selanjutnya, hasil rancang bangun dan pengujian awal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan mesin pirolisis yang lebih efisien, lebih aman, memiliki sistem pemanasan yang lebih stabil, serta sistem kondensasi yang lebih optimal.

1.7 Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada realisasi prototipe mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil yang menggabungkan reaktor fixed bed, sistem pemanas LPG, dan kondensor spiral dalam satu konfigurasi alat sederhana. Penelitian ini tidak hanya membahas pirolisis secara teoritis, tetapi menekankan pada proses rancang bangun, pembuatan alat, fungsi komponen, dan uji kinerja awal mesin.

Berbeda dari penelitian yang berfokus pada karakteristik kimia minyak pirolisis atau optimasi proses menggunakan katalis, penelitian ini dibatasi pada aspek rekayasa alat. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah rancangan dan realisasi mesin pirolisis skala kecil yang dapat dijadikan dasar pengembangan alat pada tahap berikutnya.

1.8 Sistematika Penulisan

Penulisan Skripsi ini dibagi ke dalam beberapa bab, sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang penelitian, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan

2. BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar pirolisis plastik, karakteristik sampah plastik LDPE, prinsip kerja mesin pirolisis skala rumah tangga, komponen utama mesin pirolisis, dasar perancangan rangka, penggunaan SolidWorks dalam perancangan, perpindahan panas sederhana, sistem kondensor, serta keselamatan operasi.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas jenis penelitian, waktu dan tempat penelitian, tahapan perancangan, parameter desain, proses pembuatan model menggunakan SolidWorks, serta metode perhitungan teoritis yang digunakan dalam mengevaluasi rancangan mesin pirolisis.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil perancangan mesin pirolisis sampah plastik LDPE skala rumah tangga, meliputi desain tiga dimensi menggunakan SolidWorks, desain rangka penyangga, tata letak komponen, perhitungan kapasitas bahan baku, kebutuhan panas sederhana, luas permukaan kondensor, beban rangka, serta evaluasi keselamatan dan kelayakan rancangan secara teoritis.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil rancang bangun dan uji kinerja awal mesin pirolisis plastik rumah tangga skala kecil. Selain itu, bab ini memuat saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk penyempurnaan desain alat, peningkatan kinerja mesin, dan pengembangan penelitian selanjutnya.