

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaktor pirolisis merupakan alat konversi energi yang bekerja dengan cara memanaskan bahan organik padat seperti limbah plastik atau biomassa dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan gas hidrokarbon, cairan minyak pirolisis, dan residu padat (char). Proses ini terjadi melalui reaksi termal yang memecah rantai polimer menjadi molekul hidrokarbon sederhana dengan bantuan sistem pemanas dan kondensor. Hasil utama berupa bahan bakar cair memiliki potensi besar sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (Rahmadani et al., 2021:45–52). Dengan demikian, mesin pirolisis tidak hanya menjadi solusi dalam mengurangi limbah plastik, tetapi juga menjadi sarana edukatif dalam memahami prinsip konversi energi dan teknologi ramah lingkungan.

Dalam bidang Pendidikan Teknik Mesin, mesin pirolisis merupakan salah satu peralatan Workshop yang kompleks karena terdiri dari beberapa komponen penting seperti reaktor pirolisis, sistem pemanasan, kondensor, separator, dan instrumen kontrol. Melalui pengoperasian alat ini, mahasiswa dapat mempelajari konsep dasar perpindahan panas, sistem pembakaran, pengendalian suhu, serta teknik analisis bahan bakar cair hasil olahan limbah. Namun, kenyataannya di lapangan, banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami fungsi setiap komponen dan langkah pengoperasian karena belum tersedianya panduan penggunaan yang lengkap dan terstruktur (Simanjuntak & Harahap, 2020:211-220).

Selain itu, kurangnya panduan juga berdampak pada risiko kesalahan prosedur dan keselamatan kerja di Workshop. Proses pirolisis melibatkan suhu tinggi dan sistem tekanan tertutup yang berpotensi berbahaya jika tidak dijalankan dengan benar. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan panduan penggunaan mesin pirolisis yang memuat informasi lengkap tentang prinsip kerja alat, fungsi komponen, tahapan pengoperasian, serta prosedur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Panduan ini akan membantu mahasiswa untuk melakukan praktikum dengan aman, efisien, dan sesuai standar operasional (Husna et al., 2022:33-41).

Salah satu pendekatan dalam pengelolaan limbah plastik yang sedang berkembang adalah konversi energi, yaitu mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar cair melalui proses pirolisis. Proses pirolisis melibatkan pemanasan limbah plastik dalam kondisi tanpa oksigen, sehingga menghasilkan fraksi minyak, gas, dan residu karbon (Saebea et.al., 2020:202207). Hasil minyak pirolisis memiliki karakteristik yang mirip dengan bahan bakar solar dan berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang murah dan ramah lingkungan. Inovasi ini bukan hanya penting bagi industri energi, tetapi juga sangat relevan untuk dikembangkan dalam dunia pendidikan teknik, khususnya di bidang teknik mesin.

Mahasiswa Teknik Mesin perlu dibekali pemahaman mengenai teknologi terbarukan, serta bagaimana limbah dapat diolah menjadi sumber energi alternatif. Namun, materi ini seringkali hanya diajarkan secara teori tanpa diikuti oleh praktik nyata yang memberi pengalaman langsung kepada mahasiswa. Kegiatan praktikum menjadi salah satu elemen penting dalam pendidikan vokasi, karena melalui praktikum, mahasiswa dapat memahami proses, melakukan eksperimen, serta

meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan analitis. Dalam pembelajaran teknik, praktikum berperan mempertemukan teori dengan kenyataan di lapangan. Namun hingga saat ini, praktikum mengenai pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar cair masih jarang tersedia di Workshop pembelajaran teknik mesin, khususnya di Universitas Negeri Medan (Unimed).

Selain itu, media pembelajaran yang digunakan dalam praktikum juga masih bersifat konvensional, dan kurang menyentuh isu-isu lingkungan atau energi alternatif. Padahal, menurut Zubaidah (2019:1-18), integrasi isu global seperti lingkungan dan energi dalam pembelajaran sains dan teknik dapat meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap permasalahan nyata dan mengembangkan keterampilan abad 21, seperti kolaborasi, berpikir kritis, dan kreativitas. Pengembangan media praktikum yang memungkinkan mahasiswa memproses limbah plastik menjadi bahan bakar cair dengan skala kecil, sederhana, dan aman sangat penting dilakukan. Media ini tidak ditujukan untuk menguji performa bahan bakar pada mesin, tetapi lebih untuk menunjukkan proses dan hasil awal seperti warna, bau, dan nyala api dari bahan bakar cair hasil pirolisis. Dengan begitu, mahasiswa dapat melihat secara langsung hasil konversi limbah menjadi energi.

Menurut Mulyasa (2021:22), pembelajaran yang berbasis aktivitas langsung dan eksploratif dapat meningkatkan minat belajar serta mendorong keterlibatan aktif mahasiswa. Idealnya, pembelajaran di perguruan tinggi, khususnya pada bidang teknik, mengintegrasikan pengalaman praktikum yang relevan dengan kebutuhan industri dan selaras dengan Kurikulum Merdeka Belajar. Perkembangan kurikulum pendidikan tinggi di Indonesia menunjukkan pergeseran paradigma

pembelajaran dari yang semula berpusat pada dosen (*teacher-centered*) menuju pembelajaran yang lebih berpusat pada mahasiswa (*student-centered*), terlihat jelas pada perbandingan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), dan *Outcome-Based Education* (OBE). Sementara itu, MBKM menuntut adanya fleksibilitas dan pengalaman belajar di luar kelas dengan memberikan hak mahasiswa belajar tiga semester di luar program studi, sehingga mahasiswa dapat mengembangkan kreativitas, *soft skills*, serta keterampilan kerja nyata melalui kegiatan magang, proyek, penelitian, atau kewirausahaan. Berbeda dari keduanya, OBE lebih fokus pada capaian pembelajaran lulusan (CPL) yang terukur dan terstandar secara internasional dengan menggunakan pendekatan *backward design*, sehingga setiap mata kuliah dan pengalaman belajar dirancang untuk mendukung ketercapaian kompetensi lulusan.

Meskipun memiliki perbedaan, kurikulum MBKM dan OBE ini memiliki persamaan utama, yaitu sama-sama mendorong pembelajaran berbasis kompetensi, penerapan metode *student-centered learning*, penguatan keterampilan abad 21 (*critical thinking, creativity, collaboration, communication*), serta pemanfaatan teknologi dan inovasi media pembelajaran untuk menghasilkan lulusan yang adaptif dan berdaya saing global. Sejalan dengan itu, pengembangan media praktikum pengujian bahan bakar cair dari limbah plastik untuk mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED merupakan implementasi nyata dari tuntutan kedua kurikulum ini, karena media ini tidak hanya mendukung pembelajaran berbasis kompetensi dan proyek sesuai tetapi juga memberikan pengalaman eksploratif dan mandiri seperti visi MBKM, serta dirancang berdasarkan capaian

pembelajaran yang terukur sebagaimana prinsip OBE. Dengan demikian, media praktikum ini dapat menjadi sarana strategis dalam meningkatkan keterampilan teknis mahasiswa, kreativitas, dan pemahaman konsep energi terbarukan, sekaligus menjawab tantangan kurikulum pendidikan tinggi modern yang menekankan kemandirian serta pengalaman nyata. Salah satu pendekatan yang sesuai adalah *Project-Based Learning* (PjBL), di mana mahasiswa dilibatkan secara penuh mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi hasil eksperimen.

Namun, kenyataannya pembelajaran praktikum di banyak perguruan tinggi masih didominasi oleh metode konvensional yang berfokus pada instruksi dosen dan prosedur yang sudah baku. Wilcox & Lewandowski (2016:123) membandingkan praktik Workshop terbuka (*open-ended*) dengan praktikum terstruktur (*guided labs*) dalam konteks fisika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa praktikum terbuka meningkatkan keyakinan mahasiswa terhadap praktik eksperimen sejati, dibandingkan dengan lab yang hanya mengikuti instruksi baku secara kaku. Mahasiswa sering kali hanya mengikuti petunjuk praktikum tanpa ruang yang cukup untuk eksplorasi, inovasi, maupun pemecahan masalah nyata. Akibatnya, keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kemandirian belajar mahasiswa belum berkembang secara optimal. Selain itu, media praktikum yang tersedia masih terbatas pada peralatan standar Workshop. Media ini memang mendukung pemahaman dasar, tetapi kurang memberi ruang bagi mahasiswa untuk berkreasi dan menghasilkan inovasi, misalnya dengan merancang, menguji, dan mengevaluasi sendiri suatu proyek yang aplikatif. Dengan demikian, ada ketidaksesuaian antara tuntutan MBKM, dan OBE Transformasi pendidikan tinggi

di Indonesia mengharuskan kurikulum untuk terus beradaptasi dengan perkembangan teknologi, kebutuhan dunia kerja, dan standar mutu internasional.

Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) menuntut perguruan tinggi untuk memberi kebebasan mahasiswa dalam mengembangkan kompetensi di luar program studi, termasuk melalui magang industri, proyek riset, dan inovasi teknologi. MBKM mendorong mahasiswa menjadi pembelajar mandiri dan inovatif, sehingga media praktikum ini menjadi sarana nyata bagi mahasiswa Teknik Mesin untuk mengembangkan keterampilan praktis, riset aplikatif, dan kreativitas. Melalui media ini, mahasiswa dapat terlibat aktif mulai dari desain, pengujian, hingga analisis bahan bakar alternatif, sehingga tercapai kompetensi holistik sesuai semangat MBKM. Di sisi lain, *Outcome-Based Education* (OBE) menuntut setiap kegiatan pembelajaran dirancang berdasarkan Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) yang terukur dan relevan dengan kebutuhan industri. OBE menekankan perancangan kurikulum secara *backward design*, yaitu merumuskan *learning outcomes* terlebih dahulu, kemudian menyusun strategi pembelajaran dan asesmen untuk memastikan pencapaian kompetensi. Pengembangan media praktikum ini sejalan dengan tuntutan OBE karena dirancang untuk mengukur keterampilan mahasiswa dalam bidang teknik mesin, terutama pada aspek eksperimen bahan bakar alternatif, keterampilan analitis, dan penerapan teknologi ramah lingkungan.

Secara umum, kedua kurikulum ini memiliki kesamaan dalam menuntut *student-centered learning*, keterampilan abad ke-21, kreativitas, serta penggunaan teknologi pembelajaran inovatif. Media praktikum diimplementasikan bukan hanya

memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap teori dan praktik teknik mesin, tetapi juga membentuk kompetensi profesional yang siap menghadapi tantangan industri dan tuntutan era teknologi hijau. Hal ini menekankan pembelajaran berbasis proyek dengan praktik pembelajaran yang masih cenderung instruksional dan pasif. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai pengembangan dan penerapan media praktikum berbasis proyek yang mampu mendorong mahasiswa terlibat secara aktif dalam seluruh tahapan pembelajaran. Media ini diharapkan tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual, tetapi juga mengasah keterampilan berpikir kritis, kreativitas, serta kesiapan mahasiswa menghadapi tantangan dunia kerja. Di samping itu, media ini dapat menjadi bentuk integrasi antara pengembangan keterampilan teknik dan kepedulian lingkungan. Mahasiswa tidak hanya dituntut mampu mengoperasikan alat, tetapi juga memahami urgensi pengelolaan limbah dan mencari solusi teknologi terapan yang tepat guna. Hal ini sejalan dengan arah pendidikan teknik masa kini yang tidak hanya menyiapkan lulusan terampil, tetapi juga visioner dan berwawasan lingkungan (Purwanto & Lestari, 2022:1-11).

Dengan demikian, pengembangan panduan penggunaan mesin pirolisis ini sangat penting untuk meningkatkan mutu pembelajaran praktikum di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED. Panduan ini diharapkan menjadi media pembelajaran praktis yang membantu mahasiswa memahami sistem kerja alat secara menyeluruh, memperkuat keterampilan teknis, serta menumbuhkan kesadaran terhadap pentingnya inovasi teknologi pengolahan limbah menjadi sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian dengan judul “Pengembangan Panduan Penggunaan Reaktor Pirolis Untuk Mahasiswa

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Unimed” penting untuk dilaksanakan sebagai upaya peningkatan kualitas pembelajaran di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Unimed.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang muncul sebagai berikut:

1. Belum tersedianya panduan penggunaan reaktor pirolisis yang lengkap dan sistematis di lingkungan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED, sehingga mahasiswa kesulitan memahami prosedur pengoperasian alat secara benar dan aman.
2. Mahasiswa belum memahami prinsip kerja serta fungsi komponen utama Reaktor pirolisis, seperti reaktor, sistem pemanasan, kondensor, separator, dan instrumen kontrol, akibat keterbatasan sumber belajar yang terarah.
3. Pelaksanaan Pembelajaran Mata Kuliah Mesin Konversi Energi belum berjalan optimal karena belum ada media pembelajaran yang mendukung kegiatan pembelajaran berbasis alat pirolisis secara efektif dan sesuai standar keselamatan kerja.
4. Dosen dan laboran belum memiliki acuan standar operasional (SOP) yang terintegrasi dalam kegiatan praktikum, sehingga pelaksanaan pengujian bahan bakar dari limbah plastik menggunakan reaktor pirolisis masih bersifat konvensional dan tidak terstruktur.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak melebar dari tujuan utama, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Fokus penelitian terbatas pada proses pengembangan panduan penggunaan reaktor pirolisis sebagai media pembelajaran untuk mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED, bukan pada pembuatan atau modifikasi alat pirolisis itu sendiri.
2. Panduan yang dikembangkan hanya mencakup prosedur penggunaan, fungsi komponen utama, sistem pemanasan, sistem kondensasi, separator, serta langkah-langkah keselamatan kerja (K3) dalam pengoperasian mesin pirolisis.
3. Subjek uji coba terbatas pada mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin yang telah menempuh mata kuliah terkait Mesin Konversi Energi.
4. Validasi produk dilakukan oleh ahli materi (bidang teknik mesin) dan ahli media (teknologi pembelajaran) untuk menilai kelayakan isi dan tampilan panduan, serta respon pengguna (mahasiswa) untuk menilai kemanfaatan dan kemudahan penggunaan panduan.
5. Penelitian ini tidak membahas analisis kimia atau kualitas bahan bakar cair hasil pirolisis, melainkan fokus pada kelayakan, efektivitas, dan keterpakaian panduan dalam konteks pembelajaran teknik mesin.
6. Model pengembangan yang digunakan adalah Borg and Gall (modifikasi) yang disesuaikan hingga tahap uji coba terbatas (*limited trial*) di lingkungan Workshop teknik mesin UNIMED.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan panduan penggunaan reaktor pirolisis yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED?
2. Bagaimana tingkat kelayakan panduan penggunaan reaktor pirolisis yang dikembangkan ditinjau dari aspek materi, media, dan desain?
3. Bagaimana respon mahasiswa terhadap panduan penggunaan reaktor pirolisis yang dikembangkan sebagai media pembelajaran praktik di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED?

1.5 Tujuan Pengembangan Produk

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan panduan penggunaan reaktor pirolisis sebagai media pembelajaran yang dapat membantu mahasiswa dalam memahami dan mengoperasikan alat secara efektif, aman, dan sesuai standar pembelajaran teknik mesin. Secara khusus, tujuan pengembangan produk ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang dan mengembangkan panduan penggunaan reaktor pirolisis yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED.
2. Untuk mengetahui tingkat kelayakan panduan penggunaan reaktor pirolisis yang dikembangkan ditinjau dari aspek materi, media, dan desain.

3. Untuk mengetahui respon mahasiswa terhadap panduan penggunaan reaktor pirolisis yang dikembangkan sebagai media pembelajaran praktik di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED.

1.6 Manfaat Pengembangan Produk

Hasil pengembangan panduan penggunaan mesin pirolisis diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak, baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa
 - a) Memberikan panduan yang jelas dan sistematis dalam memahami fungsi, prinsip kerja, dan langkah-langkah pengoperasian mesin pirolisis.
 - b) Meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa dalam mengoperasikan alat, menerapkan prosedur keselamatan kerja (K3), serta memahami proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair.
 - c) Membantu mahasiswa belajar secara mandiri dan kontekstual, sesuai dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan kompetensi (*Project-Based Learning*).
2. Bagi Dosen
 - a) Menjadi acuan standar operasional prosedur (SOP) dalam pelaksanaan pembelajaran Mesin Konversi Energi di Workshop Teknik Mesin.
 - b) Mempermudah dosen dalam menyampaikan Materi Pembelajaran dan menilai keterampilan mahasiswa berdasarkan panduan yang terstruktur.
3. Bagi Jurusan dan Institusi

- a) Mendukung implementasi Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan *Outcome Based Education* (OBE) dengan menyediakan media pembelajaran yang berorientasi pada hasil dan keterampilan nyata.
 - b) Meningkatkan mutu pembelajaran praktikum di jurusan melalui penggunaan panduan yang inovatif, aman, dan aplikatif.
4. Bagi Peneliti dan Pengembangan Ilmu
- a) Menjadi referensi dalam pengembangan media pembelajaran berbasis alat teknologi energi terbarukan.
 - b) Memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian lanjutan terkait pengoperasian mesin pirolisis dan pendidikan teknik mesin.

1.7 Spesifik Produk Yang Diharapkan

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa panduan penggunaan mesin pirolisis yang berfungsi sebagai media pembelajaran pendukung mata kuliah Mesin Konversi Energi di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin UNIMED.

Panduan ini diharapkan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Bentuk dan Format Produk

- a) Produk berbentuk buku panduan praktikum (*manual book*) yang disajikan dalam dua versi: cetak dan digital (*e-book/flipbook* interaktif).
- b) Desain panduan dibuat menarik, menggunakan tata letak yang sistematis, ilustrasi berwarna, dan bahasa yang komunikatif namun tetap ilmiah agar mudah dipahami oleh mahasiswa teknik.

2. Isi dan Struktur Panduan

Panduan terdiri dari beberapa bagian utama yang mencakup:

- a) **Pendahuluan:** berisi pengantar tentang konsep pirolisis, manfaat teknologi ini dalam bidang teknik mesin, serta pentingnya pemanfaatan limbah plastik sebagai energi alternatif.
- b) **Deskripsi Mesin Pirolisis:** menjelaskan komponen utama mesin seperti reaktor, sistem pemanasan, kondensor, separator, dan instrumen kontrol, disertai gambar diagram alat.
- c) **Langkah-Langkah Pengoperasian:** memuat urutan prosedur penggunaan mesin pirolisis mulai dari persiapan, pengoperasian, pengumpulan hasil, hingga pendinginan alat.
- d) **Aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3):** menjelaskan penggunaan alat pelindung diri (APD), prosedur pencegahan kebakaran, serta penanganan keadaan darurat.

3. Kriteria Kelayakan Produk

- a) **Aspek Materi:** isi panduan harus akurat secara ilmiah, relevan dengan kurikulum, dan sesuai prinsip kerja mesin pirolisis.
- b) **Aspek Media:** tampilan menarik, tata letak mudah dibaca, dan dapat diakses dengan mudah secara digital.
- c) **Aspek Pengguna:** panduan mudah digunakan oleh mahasiswa tanpa pendampingan penuh dari dosen, serta dapat menjadi acuan resmi Workshop.

4. Fungsi dan Kegunaan Produk

- a) Sebagai acuan resmi (*Standard Operating Procedure/SOP*) bagi mahasiswa dan dosen dalam kegiatan pembelajaran Mesin Konversi Energi.
- b) Sebagai media pembelajaran mandiri untuk memahami prinsip kerja dan pengoperasian mesin pirolisis.
- c) Sebagai bahan ajar inovatif yang mendukung implementasi Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan *Outcome Based Education* (OBE).

5. Target Pengguna

- a) Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin UNIMED yang mengikuti mata kuliah Mesin Konversi Energi.
- b) Dosen dan Workshop sebagai pendamping praktikum dan evaluator keterampilan mahasiswa.

1.8 Pentingnya Pengembangan

Pengembangan panduan penggunaan mesin pirolisis untuk mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Unimed memiliki urgensi yang tinggi dalam mendukung kualitas pendidikan vokasi teknik. Saat ini, perkembangan teknologi dan industri menuntut lulusan perguruan tinggi, khususnya di bidang teknik mesin, untuk memiliki keterampilan praktis yang kuat, kemampuan analisis, serta pemahaman terhadap inovasi teknologi ramah lingkungan. Namun, pembelajaran di perguruan tinggi masih banyak berfokus pada teori dengan media pembelajaran yang terbatas, sehingga mahasiswa kurang mendapatkan pengalaman praktis yang memadai. Kondisi ini dapat berdampak pada rendahnya keterampilan teknis dan

keaktivitas mahasiswa dalam menghadapi permasalahan nyata di lapangan. Selain itu, limbah plastik merupakan salah satu permasalahan lingkungan terbesar di dunia, termasuk di Indonesia. Data menunjukkan bahwa Indonesia menempati peringkat kedua penghasil limbah plastik terbesar di dunia (Jambeck et al., 2015:768-771). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar cair melalui proses pirolisis menjadi salah satu solusi inovatif dalam mengurangi dampak pencemaran lingkungan dan ketergantungan terhadap energi fosil. Dengan demikian, media panduan ini tidak hanya berfokus pada keterampilan teknis mahasiswa, tetapi juga mengintegrasikan pendidikan berbasis lingkungan dan teknologi tepat guna.

Pengembangan media panduan ini penting untuk mendukung implementasi kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan *Outcome-Based Education* (OBE) yang menekankan pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*), keterampilan abad 21, serta capaian pembelajaran lulusan yang relevan dengan kebutuhan industri. Dengan adanya panduan yang dirancang sesuai standar keamanan dan kelayakan teknis, mahasiswa dapat lebih mudah memahami konsep konversi energi, mengasah kemampuan berpikir kritis, serta membangun inovasi di bidang rekayasa teknik mesin.

Selain itu, pengembangan media ini juga memberikan manfaat besar bagi dosen dan institusi pendidikan. Dosen dapat memanfaatkan media ini sebagai sarana pembelajaran inovatif yang mempermudah penyampaian materi pembelajaran secara efektif dan efisien. Institusi pendidikan juga memperoleh keuntungan berupa peningkatan kualitas fasilitas Workshop, yang sekaligus

memperkuat citra universitas sebagai pusat pendidikan dan penelitian berbasis teknologi ramah lingkungan. Dengan demikian, pengembangan Media Panduan pengujian bahan bakar cair dari limbah plastik ini memiliki nilai strategis untuk menjawab tantangan pendidikan teknik di era Revolusi Industri 4.0. Produk yang dihasilkan tidak hanya menjadi inovasi pembelajaran, tetapi juga mampu mendukung pengembangan sumber daya manusia yang kompeten, kreatif, dan peduli lingkungan.

1.9 Asumsi Dan Keterbatasan Pengembangan

1. Asumsi Pengembangan

Dalam proses pengembangan panduan penggunaan mesin pirolisis ini, terdapat beberapa asumsi yang dijadikan dasar agar produk dapat dikembangkan dan diimplementasikan secara efektif, yaitu sebagai berikut:

- a) Mahasiswa telah memiliki pengetahuan dasar tentang energi terbarukan, konversi energi, dan prinsip kerja mesin pembakaran dari mata kuliah terkait seperti Mesin Konversi Energi, sehingga dapat memahami isi panduan dengan baik.
- b) Mesin pirolisis yang digunakan di Workshop Teknik Mesin UNIMED berfungsi dengan baik dan tersedia dalam kondisi siap operasi, sehingga proses uji coba panduan dapat dilakukan sesuai prosedur yang tertulis.
- c) Dosen dan laboran memiliki kompetensi serta pengalaman teknis dalam pengoperasian mesin pirolisis, sehingga dapat berperan sebagai validator dan pendamping dalam kegiatan praktikum.

- d) Mahasiswa dapat memanfaatkan panduan secara mandiri, baik dalam bentuk cetak maupun digital (*flipbook/e-book*), untuk memahami langkah-langkah pengoperasian dan aspek keselamatan kerja (K3) sebelum dan selama praktikum.
- e) Lingkungan Workshop mendukung kegiatan praktikum pirolisis, dengan tersedianya sarana seperti alat pelindung diri (APD), alat ukur suhu, kondensor, dan sistem ventilasi yang memadai.
- f) Panduan yang dikembangkan dapat diuji dan dievaluasi kelayakannya melalui penilaian ahli materi, ahli media, dan respon mahasiswa untuk memastikan kualitas, kejelasan, serta efektivitas produk dalam pembelajaran.

2. Keterbatasan Pengembangan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, peneliti menyadari adanya beberapa keterbatasan yang dapat memengaruhi ruang lingkup dan hasil pengembangan produk, di antaranya:

- a) Keterbatasan waktu penelitian, sehingga proses pengembangan hanya dilakukan sampai tahap uji coba terbatas dan belum sampai pada tahap implementasi luas di seluruh mata kuliah Mesin Konversi Energi.
- b) Panduan hanya difokuskan pada mesin pirolisis tipe tertentu yang tersedia di Workshop Pendidikan Teknik Mesin UNIMED, sehingga hasil panduan belum tentu sepenuhnya sesuai dengan jenis mesin pirolisis di institusi lain yang memiliki desain atau spesifikasi berbeda.

- c) Uji validasi dan respon pengguna dilakukan pada skala terbatas, melibatkan sejumlah ahli dan mahasiswa tertentu, sehingga hasilnya bersifat representatif namun belum menggambarkan keseluruhan populasi mahasiswa teknik mesin.
- d) Panduan belum mencakup analisis kimia bahan bakar cair hasil pirolisis, karena penelitian ini berfokus pada pengembangan media panduan penggunaan alat, bukan pada penelitian karakteristik bahan bakar.
- e) Keterbatasan fasilitas Workshop seperti peralatan pendukung, sensor suhu otomatis, dan sistem pendingin yang mungkin belum optimal, dapat memengaruhi kesesuaian antara panduan teoritis dan praktik lapangan.
- f) Panduan ini belum terintegrasi secara digital interaktif sepenuhnya, karena versi flipbook yang dikembangkan masih dalam tahap uji tampilan dan aksesibilitas.