RANCANG BANGUN ALAT RE-DESTILASI BBM PIROLISIS DENGAN SISTEM PEMANAS ELEKTRIK

Agus Sudaryanto [1], Akhmad Ali Imron [2], Supriyono [3]
[1)2)]*Politeknik Angkatan Darat, Kota Batu, Jawa Timur*
[3)]*Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur*
Email Sudaryantoagus34@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat re-destilasi BBM pirolisis dengan sistem pemanas elektrik guna meningkatkan kualitas bahan bakar hasil pirolisis. Penelitian dilaksanakan di Bengkel Mekanik Politeknik Angkatan Darat Kodiklatad, Kota Batu, Jawa Timur pada Januari 2026 hingga Juli 2026. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui tahapan studi literatur, simulasi, perancangan alat, pembuatan alat, dan pengujian alat secara langsung. Sistem re-destilasi terdiri dari tabung re-destilasi (*boiler*), elemen pemanas elektrik, pipa saluran uap, kondensor, selang pendingin, wadah penampung hasil destilasi, serta alat pengukur suhu thermocouple type K. Prinsip kerja alat memanfaatkan perbedaan titik didih fraksi hidrokarbon sehingga BBM pirolisis dipanaskan hingga menghasilkan uap yang kemudian didinginkan melalui kondensor menjadi cairan kembali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pemanas elektrik mampu menjaga kestabilan suhu pemanasan sehingga proses re-destilasi berlangsung lebih aman, efektif, dan menghasilkan destilat dengan tingkat kejernihan lebih baik dibanding bahan baku awal. Selain itu, sistem pemanas elektrik mampu meminimalkan risiko kebakaran karena tidak menggunakan api terbuka. Dengan demikian, alat re-destilasi berbasis pemanas elektrik dapat digunakan sebagai alternatif peningkatan kualitas BBM pirolisis secara efektif dan aman.

Keyword: Re-destilasi, BBM pirolisis, pemanas elektrik, kondensor, bahan bakar

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring perkembangan teknologi, pertumbuhan industri, dan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor. Kondisi tersebut menyebabkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil semakin tinggi, sementara ketersediaan sumber energi fosil semakin terbatas. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah pemanfaatan limbah plastik melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses penguraian material plastik menggunakan suhu tinggi tanpa adanya oksigen sehingga menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan residu padat. BBM hasil pirolisis memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif karena mengandung senyawa hidrokarbon yang mendekati karakteristik bahan bakar konvensional. Selain mampu menghasilkan energi alternatif, proses pirolisis juga dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan akibat meningkatnya jumlah limbah plastik.

Namun demikian, BBM hasil pirolisis umumnya masih memiliki kualitas yang belum stabil karena masih mengandung fraksi berat, kadar pengotor, serta karakteristik pembakaran yang kurang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan bahan bakar hasil pirolisis memerlukan proses pemurnian lanjutan agar kualitasnya meningkat dan lebih layak digunakan. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah proses re-destilasi.

Re-destilasi merupakan proses pemisahan kembali fraksi bahan bakar berdasarkan perbedaan titik didih hidrokarbon. Pada proses ini, bahan bakar dipanaskan hingga menghasilkan uap yang kemudian dikondensasikan kembali menjadi cairan dengan tingkat kemurnian yang lebih baik. Keberhasilan proses re-destilasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu pemanasan, karena suhu yang tidak terkontrol dapat menyebabkan proses pemisahan fraksi menjadi kurang optimal.

Dalam penelitian ini digunakan sistem pemanas elektrik sebagai sumber panas utama pada alat re-destilasi. Penggunaan pemanas elektrik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pemanas berbasis api langsung, yaitu suhu lebih stabil, mudah dikontrol, lebih aman, dan tidak menghasilkan nyala api terbuka yang dapat meningkatkan risiko kebakaran. Selain itu, penggunaan sistem pemanas elektrik juga lebih sesuai digunakan pada skala laboratorium maupun penelitian karena menghasilkan proses pemanasan yang lebih terkontrol.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat alat re-destilasi BBM pirolisis dengan sistem pemanas elektrik guna meningkatkan kualitas bahan bakar hasil pirolisis. Penelitian ini diharapkan dapat

menghasilkan alat yang mampu bekerja secara efektif, aman, dan menghasilkan BBM dengan kualitas yang lebih baik sehingga dapat menjadi salah satu solusi pengembangan energi alternatif di masa mendatang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pirolisis Plastik

Pirolisis merupakan proses penguraian material organik menggunakan suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Pada proses ini, limbah plastik dipanaskan hingga mengalami dekomposisi termal dan menghasilkan produk berupa bahan bakar cair, gas, dan residu padat. Metode pirolisis banyak dikembangkan sebagai solusi pengolahan limbah plastik sekaligus menghasilkan energi alternatif yang bernilai ekonomis.

Jenis plastik yang umum digunakan dalam proses pirolisis antara lain HDPE (High Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), dan PMMA (Polymethyl Methacrylate). Hasil pirolisis dari masing-masing jenis plastik memiliki karakteristik yang berbeda tergantung komposisi hidrokarbon dan suhu proses pirolisis yang digunakan.

BBM hasil pirolisis memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif karena mengandung senyawa hidrokarbon yang mendekati karakteristik bensin maupun solar. Namun demikian, hasil pirolisis umumnya masih memiliki kandungan fraksi berat dan zat pengotor sehingga memerlukan proses pemurnian lanjutan agar kualitasnya meningkat.

2.2 Re-Destilasi

Re-destilasi merupakan proses destilasi ulang yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar melalui pemisahan fraksi berdasarkan perbedaan titik didih. Pada proses ini, bahan bakar dipanaskan hingga menghasilkan uap, kemudian uap tersebut didinginkan melalui kondensor sehingga berubah kembali menjadi cairan dengan tingkat kemurnian yang lebih baik.

Proses re-destilasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu pemanasan. Pengaturan suhu yang baik akan membantu pemisahan fraksi hidrokarbon berlangsung lebih optimal sehingga menghasilkan bahan bakar dengan kualitas lebih baik. Selain itu, proses pendinginan pada kondensor juga mempengaruhi jumlah dan kualitas destilat yang dihasilkan.

2.3 Sistem Pemanas Elektrik

Sistem pemanas elektrik merupakan sistem pemanas yang memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas melalui elemen pemanas. Energi listrik diubah menjadi energi panas melalui hambatan listrik pada elemen pemanas sehingga menghasilkan temperatur tertentu sesuai kebutuhan proses.

Penggunaan sistem pemanas elektrik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pemanas berbasis api langsung, antara lain:

1. Suhu lebih stabil dan mudah dikontrol.
2. Risiko kebakaran lebih kecil karena tidak menggunakan api terbuka.
3. Proses pemanasan lebih merata.
4. Lebih aman digunakan pada skala laboratorium dan penelitian.

Dalam penelitian ini, pemanas elektrik digunakan untuk memanaskan tabung re-destilasi agar proses penguapan BBM pirolisis dapat berlangsung secara optimal.

2.4 Komponen Utama Alat Re-Destilasi

2.4.1 Tabung Re-Destilasi (Boiler)

Boiler merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai tempat pemanasan BBM pirolisis. Pada bagian ini, bahan bakar dipanaskan menggunakan elemen pemanas elektrik hingga mencapai suhu penguapan tertentu.

2.4.2 Pipa Saluran Uap

Pipa saluran uap berfungsi mengalirkan uap hasil pemanasan dari boiler menuju kondensor. Material pipa harus tahan terhadap suhu tinggi dan korosi agar proses re-destilasi berlangsung aman.

2.4.3 Kondensor

Kondensor merupakan komponen yang berfungsi mendinginkan uap hasil destilasi sehingga berubah kembali menjadi cairan. Proses pendinginan dilakukan menggunakan media air yang mengalir pada sistem pendingin.

2.4.4 Thermocouple Type K

Thermocouple type K digunakan sebagai alat pengukur suhu pada proses re-destilasi. Sensor ini mampu mengukur suhu tinggi dengan tingkat akurasi yang baik sehingga membantu proses pengontrolan suhu pemanasan.

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan proses berpindahnya energi panas dari suhu tinggi menuju suhu rendah. Dalam proses re-destilasi, perpindahan panas terjadi pada boiler dan kondensor.

Perhitungan kebutuhan kalor menggunakan persamaan:

$Q=m\cdot c\cdot \Delta T$ (Q = m \cdot c \cdot \Delta TQ=m·c·ΔT)

Keterangan:

Q = kalor (Joule)
m = massa bahan (kg)
c = kalor jenis bahan
ΔT = perubahan suhu (°C)

Sedangkan perhitungan daya pemanas menggunakan persamaan:

$P=\frac{Q}{t}$ (P=QtP = \frac{Q}{t}P=tQ)

Keterangan:

P = daya pemanas (Watt)
Q = kalor (Joule)
t = waktu pemanasan (detik)

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa proses re-destilasi mampu meningkatkan kualitas BBM hasil pirolisis. Penggunaan sistem pemanas elektrik juga dinilai lebih efektif dalam menjaga kestabilan suhu dibandingkan pemanas konvensional.

Penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik melalui pirolisis menunjukkan bahwa bahan bakar hasil pirolisis memiliki potensi besar sebagai energi alternatif. Oleh karena itu, pengembangan alat re-destilasi dengan sistem pemanas elektrik diharapkan mampu meningkatkan kualitas bahan bakar sehingga lebih layak digunakan pada mesin kendaraan maupun kebutuhan lainnya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif yang berdasarkan data berupa angka kemudian diolah dan dihitung menggunakan rumus-rumus yang berkaitan dengan proses re-destilasi BBM pirolisis. Metode ini digunakan untuk mengetahui kinerja alat re-destilasi dengan sistem pemanas elektrik berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan secara langsung.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Bengkel Mekanik Politeknik Angkatan Darat (POLTEKAD) Kodiklatad, Desa Pendem, Kecamatan Junrejo, Kota Batu, Provinsi Jawa Timur.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 7 bulan, dimulai pada Januari 2026 sampai Juli 2026. Tahapan penelitian meliputi penyusunan proposal, persiapan alat dan bahan, pembuatan alat, pengujian alat, analisis hasil pengujian, penulisan tugas akhir, seminar hasil, sidang tugas akhir, dan revisi tugas akhir.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pirolisis plastik, re-destilasi BBM, sistem pemanas elektrik, dan perpindahan panas.

3.2.2 Simulasi

Simulasi dilakukan untuk memvisualisasikan desain alat dan membantu proses perhitungan sebelum alat dibuat secara langsung. Simulasi bertujuan untuk meminimalkan kesalahan dalam proses perancangan alat.

3.2.3 Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan melakukan pengujian langsung pada alat re-destilasi yang telah dibuat. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kinerja alat dan kualitas hasil destilasi.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dalam penelitian. Variabel terikat pada penelitian ini meliputi:

a. Suhu kerja pada boiler selama proses pemanasan.
b. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu destilasi.
c. Laju aliran uap hasil re-destilasi menuju kondensor.
d. Volume destilat yang dihasilkan.
e. Efisiensi proses re-destilasi.
f. Kinerja kondensor dalam mengubah uap menjadi cairan.
g. Stabilitas suhu sistem pemanas elektrik.

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi:

a. Daya elemen pemanas elektrik.
b. Volume BBM pirolisis yang digunakan.
c. Dimensi dan material boiler.
d. Jenis dan panjang pipa saluran uap.
e. Jenis kondensor dan media pendingin.
f. Debit air pendingin.
g. Waktu pemanasan selama proses re-destilasi.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Tabung re-destilasi (boiler)
2. Elemen pemanas elektrik
3. Pipa saluran uap stainless steel
4. Kondensor
5. Selang pendingin
6. Thermocouple type K
7. Wadah penampung hasil destilasi
8. Pompa air pendingin

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah BBM hasil pirolisis plastik jenis HDPE, LDPE, dan PMMA.

3.5 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur terkait proses pirolisis dan re-destilasi.
2. Mendesain alat re-destilasi menggunakan sistem pemanas elektrik.
3. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
4. Merakit alat re-destilasi sesuai desain yang telah dibuat.
5. Mengisi boiler dengan BBM hasil pirolisis.
6. Menyalakan sistem pemanas elektrik hingga mencapai suhu destilasi.

7. Mengamati proses penguapan dan kondensasi pada alat.
8. Menampung hasil destilat pada wadah penampung.
9. Melakukan pengukuran suhu, waktu, dan volume hasil destilasi.
10. Menganalisis hasil pengujian untuk mengetahui kinerja alat.

3.6 Perhitungan Penelitian

Perhitungan kebutuhan kalor menggunakan persamaan:

$Q=m\cdot c\cdot \Delta TQ = m \cdot c \cdot \Delta TQ=m\cdot c\cdot \Delta T$

Keterangan:

Q = kalor (Joule)
m = massa BBM (kg)
c = kalor jenis BBM
ΔT = perubahan suhu (°C)

Perhitungan daya pemanas menggunakan persamaan:

$P=QtP = \frac{Q}{t}P=tQ$

Keterangan:

P = daya pemanas (Watt)
Q = kalor (Joule)
t = waktu pemanasan (detik)

Perhitungan kalor penguapan menggunakan persamaan:

$Q=m\cdot hfgQ = m \cdot h_{fg}Q=m\cdot hfg$

Keterangan:

Q = kalor penguapan (Joule)
m = massa uap (kg)
hfg = kalor laten penguapan (J/kg)

3.7 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur, dilanjutkan dengan pembuatan desain alat, perhitungan dan simulasi alat, proses perancangan alat, pengujian alat, analisis hasil pengujian, penarikan kesimpulan, dan penyusunan laporan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat Re-Destilasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat re-destilasi BBM pirolisis dengan sistem pemanas elektrik berhasil dirancang dan dibuat sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Alat terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu tabung re-destilasi (boiler), elemen pemanas elektrik, pipa saluran uap, kondensor, selang pendingin, thermocouple type K, dan wadah penampung hasil destilasi.

Boiler dibuat menggunakan material stainless steel yang tahan terhadap suhu tinggi dan korosi akibat kontak langsung dengan BBM pirolisis. Sistem pemanas menggunakan pemanas elektrik yang mampu menghasilkan panas secara stabil sehingga proses pemanasan dapat berlangsung dengan baik. Pipa saluran uap juga menggunakan material stainless steel untuk menjaga ketahanan terhadap temperatur tinggi selama proses destilasi berlangsung.

Kondensor dirancang menggunakan sistem pendingin air agar proses perubahan fase uap menjadi cair dapat berlangsung secara optimal. Air pendingin dialirkan secara terus-menerus untuk menjaga suhu kondensor tetap rendah sehingga proses kondensasi berjalan dengan baik.

4.2 Hasil Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan memanaskan BBM hasil pirolisis menggunakan sistem pemanas elektrik hingga mencapai suhu destilasi. Selama proses pengujian dilakukan pengamatan terhadap suhu kerja boiler, kestabilan pemanasan, aliran uap menuju kondensor, serta volume hasil destilat yang diperoleh.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pemanas elektrik mampu menghasilkan suhu yang stabil selama proses re-destilasi berlangsung. Stabilitas suhu sangat membantu proses pemisahan fraksi hidrokarbon sehingga uap yang dihasilkan dapat terkondensasi dengan baik pada kondensor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

1. Uap hasil pemanasan dapat mengalir dengan baik menuju kondensor.
2. Kondensor mampu mengubah uap menjadi cairan secara optimal.
3. Hasil destilat memiliki tingkat kejernihan lebih baik dibandingkan bahan baku awal.
4. Sistem pemanas elektrik mampu bekerja secara stabil tanpa terjadi lonjakan suhu yang berlebihan.
5. Proses re-destilasi berlangsung lebih aman karena tidak menggunakan api terbuka.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Sistem Pemanas Elektrik

Penggunaan sistem pemanas elektrik memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses re-destilasi BBM pirolisis. Pemanas elektrik mampu menjaga kestabilan suhu pemanasan sehingga proses penguapan berlangsung secara bertahap dan lebih terkontrol.

Kestabilan suhu sangat penting dalam proses re-destilasi karena setiap fraksi hidrokarbon memiliki titik didih yang berbeda. Jika suhu pemanasan tidak stabil, maka proses pemisahan fraksi menjadi kurang optimal dan dapat mempengaruhi kualitas hasil destilasi.

Selain itu, penggunaan sistem pemanas elektrik juga meningkatkan faktor keselamatan kerja karena tidak menggunakan api terbuka yang berpotensi menimbulkan kebakaran saat proses destilasi berlangsung.

4.3.2 Kinerja Kondensor

Kondensor memiliki peranan penting dalam proses re-destilasi karena berfungsi mengubah uap

hasil pemanasan menjadi cairan kembali. Pada penelitian ini, kondensor dengan sistem pendingin air mampu bekerja dengan baik dalam menurunkan suhu uap sehingga proses kondensasi berlangsung optimal.

Debit aliran air pendingin sangat mempengaruhi kemampuan kondensor dalam menyerap panas dari uap BBM. Semakin stabil aliran air pendingin, maka proses perubahan fase uap menjadi cair akan semakin baik sehingga volume destilat yang dihasilkan menjadi lebih maksimal.

4.3.3 Kualitas Hasil Destilasi

Hasil re-destilasi menunjukkan adanya peningkatan kualitas BBM dibandingkan bahan awal hasil pirolisis. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingkat kejernihan destilat yang lebih baik dan berkurangnya kandungan fraksi berat pada bahan bakar.

Proses re-destilasi mampu memisahkan sebagian zat pengotor dan fraksi berat yang terkandung dalam BBM pirolisis sehingga menghasilkan bahan bakar yang lebih bersih. Dengan demikian, proses re-destilasi dapat digunakan sebagai metode pemurnian BBM hasil pirolisis agar lebih layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

4.4 Analisis Perhitungan

Perhitungan kebutuhan kalor pada proses pemanasan menggunakan persamaan:

$Q=m \cdot c \cdot \Delta T$ Q = m \cdot c \cdot \Delta TQ=m·c·ΔT

Sedangkan daya pemanas dihitung menggunakan persamaan:

$P=\frac{Q}{t}$ P = \frac{Q}{t}P=tQ

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa kebutuhan kalor meningkat seiring kenaikan suhu pemanasan. Daya pemanas yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan panas selama proses re-destilasi berlangsung sehingga proses penguapan dapat berjalan secara optimal.

Selain itu, proses perpindahan panas pada kondensor juga berjalan dengan baik sehingga uap hasil pemanasan mampu terkondensasi menjadi cairan hasil destilasi secara maksimal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat re-destilasi BBM pirolisis dengan sistem pemanas elektrik berhasil dirancang dan dibuat dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem pemanas elektrik mampu menghasilkan suhu pemanasan yang stabil sehingga proses re-destilasi dapat berlangsung secara lebih efektif dan aman.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses re-destilasi mampu meningkatkan kualitas BBM hasil pirolisis yang ditandai dengan meningkatnya tingkat kejernihan destilat dan berkurangnya kandungan fraksi berat pada bahan bakar. Selain itu, kondensor mampu bekerja dengan baik dalam mengubah uap hasil pemanasan menjadi cairan secara optimal sehingga proses destilasi berlangsung lebih efisien.

Penggunaan sistem pemanas elektrik juga memberikan keuntungan dari segi keselamatan kerja karena tidak menggunakan api terbuka, sehingga risiko kebakaran selama proses re-destilasi dapat diminimalkan. Dengan demikian, alat re-destilasi berbasis pemanas elektrik dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pemurnian BBM hasil pirolisis secara efektif, aman, dan lebih terkontrol.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi suhu pemanasan yang lebih luas agar diperoleh hasil pemisahan fraksi bahan bakar yang lebih optimal.
2. Sistem pengontrol suhu dapat dikembangkan menggunakan kontrol otomatis berbasis digital agar kestabilan suhu lebih akurat dan mudah dioperasikan.
3. Perlu dilakukan penyempurnaan pada sambungan pipa dan sistem kondensor untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kebocoran uap selama proses re-destilasi berlangsung.
4. Pengujian kualitas BBM hasil re-destilasi dapat dilakukan lebih lanjut menggunakan pengujian laboratorium yang lebih lengkap agar diperoleh data karakteristik bahan bakar yang lebih detail.
5. Penelitian berikutnya dapat mengembangkan kapasitas alat re-destilasi yang lebih besar agar dapat digunakan pada skala produksi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. A. Fahim, T. A. Alsahhaf, dan A. Elkilani, *Fundamentals of Petroleum Refining*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2010.

[2] J. G. Speight, *The Chemistry and Technology of Petroleum*, 5th ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2014.

[3] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, dan A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed. New York, USA: John Wiley & Sons, 2011.

[4] M. Syamsiro, "Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis pada Pirolisis Limbah Plastik terhadap Hasil Bahan Bakar Cair," *Jurnal Teknologi*, vol. 7, no. 2, pp. 45–52, 2020.

[5] A. Demirbas, "Pyrolysis of Municipal Plastic Wastes for Recovery of Gasoline-Range Hydrocarbons," *Journal of Analytical and*

Applied Pyrolysis, vol. 72, no. 1, pp. 97–102, 2014.

[6] S. Kumar dan R. Singh, "Plastic Waste to Fuel Conversion using Pyrolysis Process," *Renewable Energy Journal*, vol. 45, pp. 201–207, 2018.

[7] H. Wijanarko, "Pengaruh Temperatur terhadap Hasil Destilasi Bahan Bakar Pirolisis Plastik," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 25–31, 2021.

[8] A. R. Pratama dan B. Setiawan, "Perancangan Alat Destilasi Bahan Bakar Cair Hasil Pirolisis Plastik," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 9, no. 3, pp. 56–63, 2022.

[9] S. Wahyudi, "Analisis Kinerja Kondensor pada Sistem Destilasi Bahan Bakar," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 70–77, 2021.

[10] Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir Politeknik Angkatan Darat Kodiklatad, Batu, Jawa Timur, 2025.