



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

**DESAIN DAN ANALISIS KEKUATAN REAKTOR PIROLISIS
MENGUNAKAN SIMULASI BERBASIS FINITE ELEMENT ANALYSIS
(FEA)**

*Diajukan Kepada Tim Penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Sebagai Salah
Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik
Mesin FT-UNP*

TUGAS AKHIR

TASYAH

21338087 / 2021

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Desain dan Analisis Kekuatan Reaktor Pirolisis Menggunakan
Simulasi Berbasis *Finite Element Analysis* (FEA)
Nama : Tasyah
NIM : 21338087
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : SI Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Telah disetujui keasliannya dan diajukan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Padang, 30 Oktober 2025

Disetujui Oleh:

Koordinator Prgram Studi

Dosen Pembimbing



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIP. 197607062003121001



Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T., IPP
NIP. 198811012022031006

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan tugas akhir di depan tim penguji
Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Padang.*

Judul : Desain dan Analisis Kekuatan Reaktor Pirolisis Menggunakan
Simulasi Berbasis *Finite Element Analysis* (FEA)
Nama : Tasyah
NIM : 21338087
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, 30 Oktober 2025

Nama	Tim Penguji	Tanda Tangan
------	-------------	--------------

1. Ketua	: Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T., IPP.	
----------	---------------------------------------	--

2. Anggota	: Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D.	
------------	--	--

3. Anggota	: Zainal Abadi, S.Pd., M.Eng.	
------------	-------------------------------	--

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, Tugas Akhir dengan judul “Analisis Penggunaan Asam Sulfat dalam Pengolahan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, penilaian, dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 30 Oktober 2025

Saya yang menyatakan,



Tasyah
NIM. 21338087

ABSTRAK

Tasyah, 2025. Desain dan Analisis Kekuatan Reaktor Pirolisis Menggunakan Simulasi Berbasis *Finite Element Analysis* (FEA).

Peningkatan limbah plastik yang sulit terurai mendorong kebutuhan energi alternatif. Salah satu solusi adalah proses pirolisis yang mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar tanpa oksigen. Penelitian ini menganalisis kekuatan reaktor pirolisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) pada ANSYS dengan variasi material Stainless Steel 304 dan Baja Karbon AISI 1045 serta ketebalan 3 mm dan 5 mm. Hasil simulasi menunjukkan Stainless Steel 304 ketebalan 5 mm memiliki distribusi tegangan paling merata dan faktor keamanan tertinggi, sehingga dinilai paling optimal terhadap beban termal dan tekanan 0,1 MPa pada suhu operasi hingga 462°C.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Stainless Steel 304 memiliki distribusi tegangan yang lebih merata serta nilai *safety factor* lebih tinggi dibandingkan Baja Karbon AISI 1045. Ketebalan 5 mm memberikan penurunan deformasi dan tegangan maksimum, sehingga struktur lebih kuat dan aman terhadap beban operasi. Berdasarkan analisis, desain reaktor pirolisis menggunakan material Stainless Steel 304 dengan ketebalan 5 mm dinilai paling optimal dari segi kekuatan dan ketahanan termal.

Kata kunci: Reaktor Pirolisis, FEA, ANSYS, Tegangan Von Mises, Deformasi, Faktor Keamanan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **"Desain dan Analisis Kekuatan Reaktor Pirolisis Menggunakan Simulasi Berbasis *Finite Element Analysis* (FEA)"** sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang.

Tugas Akhir ini memberikan manfaat besar bagi penulis dalam memperdalam pemahaman terkait penerapan teori yang telah dipelajari selama perkuliahan ke dalam analisis rekayasa berbasis simulasi. Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan yang disebabkan oleh berbagai kendala. Penulis begitu banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Yolli Fernanda, S. T., M. T., Ph. D. Eng., selaku ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T., IPP., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan kepada penulis.

4. Bapak Febri Prasetya, S.Pd., M.Pd.T., selaku dosen Pembimbing Akademik (PA), yang selalu memberikan arahan dan nasihat kepada penulis.
5. Bapak dan ibu dosen beserta staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
6. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
7. Teman seperjuangan dan semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyusun proposal skripsi.

Dalam penulisan laporan ini, penulis sangat menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari segenap pembaca guna kesempurnaan laporan ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga laporan ini memberikan sumbangan pikiran, informasi dan pengetahuan yang dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama bagi penulis sendiri.

Padang, 30 Oktober 2025

Tasyah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Teori Desain	7
B. Analisis Kekuatan Struktur Menggunakan Mekanika Bahan	9
C. Konsep Dasar Reaktor Pirolisis	12
D. <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	23
E. Penelitian Relevan.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	38
A. Jenis Penelitian.....	38
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
C. Variabel Penelitian	38
D. Instrumen Penelitian.....	41

E. Teknik Pengumpulan Data	45
G. Diagram Alir Penelitian.....	46
H. Prosedur Penelitian.....	48
I. Analisis Data	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
A. Analisis Model Simulasi	64
B. Boundary Condition dan Parameter Simulasi	56
C. Validasi Model Simulasi	57
D. Uji Grid Independensi	60
F. Analisis <i>Static Structural</i>	64
G. Hasil dan Pembahasan Analisis Static Structural.....	86
BAB V PENUTUP	102
A. Kesimpulan	102
B. Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN.....	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 transfer Panas Satu Dimensi Melalui Konduksi.....	20
Gambar 2. 2 triangular mesh.....	26
Gambar 2. 3 <i>Quadrilateral Mesh</i>	27
Gambar 2. 4 <i>Tetrahedral Mesh</i>	28
Gambar 2. 5 Hexahedral <i>Mesh</i>	29
Gambar 2. 6 <i>Hybrid Mesh</i>	29
Gambar 2. 7 (a) Pyrolysis reactor schematic design (b) pyrolysis reactor picture (c) cooling coil	35
Gambar 3 1 Desain Reaktor Pirolisis.....	42
Gambar 3 2 Diagram Alir Penelitian.....	46
Gambar 3 3 3D Reaktor	49
Gambar 3 4 Proses Import Rancangan kedalam ANSYS	52
Gambar 3 5 Meshing pada Reaktor.....	54
Gambar 4 1 Simulasi distribusi suhu	59
Gambar 4 2 Uji Grid Independensi	61
Gambar 4 3 Total Deformasi Stainless Steel 304 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor.....	65
Gambar 4 4 <i>Equivalent (von-mises) stress</i> Stainless Steel 304 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	66
Gambar 4 5 <i>Safety of Factory</i> (SOF) Stainless Steel 304 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	67
Gambar 4 6 Total Deformasi Baja Carbon AISI 1045 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan potongan reaktor.....	71
Gambar 4 7 <i>Equivalent (Von-Mises) Stress</i> Baja Carbon AISI 1045 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan potongan reaktor	72
Gambar 4 8 <i>Safety of Factory</i> (SOF) Baja Carbon AISI 1045 (3 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan potongan reaktor.....	72

Gambar 4 9 Total Deformasi Baja Carbon AISI 1045 (5 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	76
Gambar 4 10 <i>Equivalent (Von-Mises) Stress</i> Baja Carbon AISI 1045 (5 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	77
Gambar 4 11 <i>Safety of Factory</i> (SOF) Baja Carbon AISI 1045 (5 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan potongan reaktor.....	78
Gambar 4 12 Total Deformasi Baja Carbon AISI 1045 (5 mm)	81
Gambar 4 13 <i>Equivalent (Von-Mises) Stress</i> Baja Carbon AISI 1045 (5 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	82
Gambar 4 14 <i>Safety of Factory</i> (SOF) Baja Carbon AISI 1045 (5 mm). (a) Tampilan keseluruhan, (b) Tampilan alas reaktor	83
Gambar 4 15 Grafik simulasi (3 mm)	90
Gambar 4 16 Grafik simulasi (5 mm)	93
Gambar 4 17 Grafik Total Deformasi	96
Gambar 4 18 Grafik <i>Equivalent (von-mises) stress</i>	98
Gambar 4 19 <i>Safety Of Factory</i> (SOF)	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Pirolisis	14
Tabel 3 1 Data Material.....	43
Tabel 3 2 Kondisi Batas dan <i>Initial Value</i>	43
Tabel 3 3 Instrumen Penelitian.....	44
Tabel 3 4 Teknik Pengumpulan Data	45
Tabel 4 1 Material Properties.....	56
Tabel 4 2 Parameter Simulasi.....	56
Tabel 4 3 Validasi Hasil.....	58
Tabel 4 4 Uji Grid Independensi	61
Tabel 4 5 Data Hasil Simulasi Analisis Static Structural	86

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini sampah menjadi permasalahan utama di Indonesia. Dalam setiap tahun, volume sampah di Indonesia terus meningkat. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mencatat bahwa Indonesia menghasilkan sekitar 68 juta ton sampah per tahun (Antara News, 2023).

Berdasarkan data SIPSN, jumlah sampah yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 69,9 juta ton. Sampah didominasi oleh sisa makanan yang mencapai 41,60%, diikuti oleh sampah plastik sebesar 18,71% atau sekitar 13,1 juta ton. Jumlah sampah plastik pada tahun 2022 mencapai 12,54 juta ton. Hal ini menunjukkan peningkatan jumlah limbah plastik dibandingkan tahun sebelumnya (Kompas.com, 2023).

Limbah plastik merupakan salah satu masalah lingkungan yang paling serius saat ini karena sifatnya yang sulit terurai secara alami. Jumlah limbah plastik yang terus meningkat setiap tahunnya memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan laut. Berbagai penanganan sampah telah dilakukan untuk meminimalisir penumpukan limbah plastik pengolahan dapat dilakukan dengan mengubah limbah plastik menjadi karya seni bahkan mengubahnya menjadi alternatif yang lebih bermanfaat.

Namun di sisi lain, kebutuhan energi alternatif juga semakin meningkat

karena keterbatasan cadangan bahan bakar fosil. Salah satu teknologi yang efektif dalam mengatasi masalah ini adalah teknologi yang menggunakan metode pirolisis, yaitu proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair, gas, atau karbon padat melalui pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen. Menurut *International Energy Agency* (IEA), permintaan energi global terus tumbuh, dengan sektor energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin mengalami peningkatan hampir 6% pada tahun 2024, dan tren ini diperkirakan terus berlanjut seiring upaya global menuju dekarbonisasi (IEA, 2024). BloombergNEF juga memproyeksikan bahwa hingga tahun 2050, permintaan energi akan meningkat sebesar 25%, dan energi terbarukan diprediksi akan menjadi dominan karena lebih kompetitif dari sisi biaya dibandingkan bahan bakar fosil (BloombergNEF, 2024).

Teknologi ini tidak hanya menawarkan alternatif bahan bakar, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi pencemaran limbah plastik. Menurut laporan dari GlobeNewswire (2025), teknologi pirolisis terus berkembang, didorong oleh inovasi serta kebutuhan industri terhadap sumber energi terbarukan. Pasar minyak pirolisis sendiri diprediksi tumbuh dari USD 827 juta pada tahun 2025 menjadi USD 1,23 miliar pada tahun 2030, dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 8,35% (*Knowledge Sourcing Intelligence*, 2025). Data ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan energi alternatif dan teknologi pirolisis memiliki prospek yang cerah dan menjadi bagian penting dalam transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Seiring dengan meningkatnya minat terhadap teknologi pirolisis, peran desain reaktor menjadi sangat krusial dalam menjamin efisiensi dan keberhasilan proses konversi limbah plastik menjadi energi. Oleh karena itu perancangan harus dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan reaktor terhadap suhu tinggi yang disebabkan oleh pembakaran limbah plastik pada tabung reaktor. Sebagian besar penelitian masih bergantung pada eksperimen di laboratorium daripada menggunakan simulasi untuk menguji ketahanan reaktor saat digunakan. Salah satu studi memfokuskan analisis pada kondisi *steady-state* tanpa mempertimbangkan efek transien seperti siklus pemanasan-pendinginan yang dapat memicu kelelahan termal. Selain itu, desain reaktor yang dikaji terbatas pada satu jenis material dan ketebalan dinding, serta menggunakan asumsi *boundary condition* yang sederhana. (Nofendri & Haryanto, 2021).

Berdasarkan penelitian yang relevan sehingga diperlukan perancangan dan analisis desain reaktor menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dengan memvariasikan jenis material, serta pengaruh ketebalan dinding reaktor. FEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi, memprediksi titik kegagalan, serta melakukan optimasi desain agar lebih efisien dan tahan lama. Dalam *Finite Element Analysis* (FEA), baja tahan karat sering digunakan karena memiliki sifat mekanik yang baik untuk mencegah deformasi atau kerusakan selama operasi. Analisis ini digunakan untuk menilai seberapa baik material reaktor menahan

panas dan tekanan, serta memperkirakan kemungkinan retak atau aus dalam jangka panjang. Hasil analisis dari simulasi dimanfaatkan sebagai landasan dalam menentukan material dan ukuran pelat yang paling sesuai dengan kebutuhan, sehingga proses perancangan alat dapat dilakukan secara lebih efisien dan hemat biaya.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah tertera maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Peningkatan jumlah limbah plastik tiap tahunnya menjadi permasalahan yang harus ditanggapi dengan serius mengingat limbah plastik yang sulit terurai dan pengolahan sampah yang belum dapat dilakukan dengan optimal.
2. Kebutuhan energi alternatif yang semakin meningkat dan keterbatasan cadangan bahan bakar fosil.
3. Kurangnya analisis mekanikal pada reaktor dapat menyebabkan kerusakan dalam jangka Panjang.
4. Belum optimalnya rancangan dan analisis terkait desain reaktor.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah maka penulis memberikan batasan masalah yang akan dibahas dalam proposal ini yakni sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan berfokus pada tabung reaktor yang terkonsentrasi langsung dengan sumber panas.
2. Metode yang dilakukan adalah simulasi numerik berbasis *finite element analysis* menggunakan Ansys.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah tertera penulis menetapkan rumusan masalah yaitu, bagaimana melakukan desain reaktor pirolisis dan analisis kekuatan reaktor terhadap beban termal dan mekanik dengan menggunakan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA)?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas dapat diperoleh tujuan dari penelitian yaitu, merancang dan menganalisis kekuatan struktur reaktor terhadap beban termal dan mekanik reaktor pirolisis menggunakan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA).

F. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini penulis berharap dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Dengan menyelesaikan penelitian ini dapat menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin
2. Mendapatkan rancangan reaktor sesuai dengan literatur yang telah dipelajari sehingga memberikan wawasan mengenai optimasi desain reaktor berbasis analisis mekanikal.

3. Mengurangi limbah plastik serta memanfaatkannya menjadi alternatif minyak bumi pengganti fosil yang semakin berkurang.
4. Bagi institusi pendidikan, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan dalam pengajaran mata kuliah terkait desain manufaktur, mekanika material, dan simulasi numerik, serta dapat menjadi acuan untuk tugas akhir mahasiswa lainnya.
5. Bagi industri, memberikan masukan teknis yang relevan untuk proses pengembangan prototipe reaktor pirolisis skala kecil hingga menengah, yang dapat digunakan sebagai alternatif solusi pengolahan limbah dan produksi energi.
6. Bagi pemerintah dan pengambil kebijakan, memberikan gambaran awal mengenai potensi teknologi pirolisis dari aspek teknis dan desain, yang dapat dijadikan pertimbangan dalam perumusan kebijakan energi alternatif dan pengelolaan limbah plastik.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis simulasi yang telah dilakukan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) pada perangkat lunak ANSYS, dapat disimpulkan bahwa desain reaktor pirolisis yang telah dirancang mampu menahan beban termal dan tekanan operasi dengan baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi jenis material dan ketebalan dinding reaktor berpengaruh signifikan terhadap kekuatan struktur dan keamanan reaktor. Material Stainless Steel 304 dengan ketebalan 5 mm memiliki distribusi tegangan yang paling merata, deformasi paling kecil, serta nilai faktor keamanan tertinggi dibandingkan dengan baja karbon AISI 1045. Kondisi ini menunjukkan bahwa Stainless Steel 304 lebih unggul dalam ketahanan terhadap tekanan internal sebesar 0,1 MPa dan suhu operasi hingga 462°C.

Peningkatan ketebalan dinding dari 3 mm menjadi 5 mm juga terbukti meningkatkan faktor keamanan dan menurunkan deformasi total, sehingga struktur reaktor menjadi lebih stabil dan aman terhadap kegagalan plastis. Secara keseluruhan, rancangan reaktor pirolisis yang dihasilkan telah memenuhi kriteria kelayakan teknis untuk diaplikasikan pada proses konversi limbah plastik menjadi bahan bakar. Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa desain reaktor pirolisis berbahan Stainless Steel 304 ketebalan 5 mm merupakan desain yang paling optimal dan direkomendasikan untuk digunakan karena memiliki keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik dan ketahanan termal dalam kondisi operasi sebenarnya.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan validasi eksperimental terhadap hasil simulasi untuk memastikan kesesuaian data numerik dengan kondisi nyata operasi reaktor. Selain itu, perlu dilakukan pengujian pada variasi tekanan dan suhu yang lebih tinggi untuk mengetahui batas ketahanan material secara lebih detail. Penggunaan material paduan lain seperti Stainless Steel 316L atau Inconel juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi pada suhu ekstrem. Dari sisi desain, pengembangan sistem pendinginan dan pelapisan pelindung pada reaktor berbahan baja karbon dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan umur pakai alat. Secara umum, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan reaktor pirolisis yang efisien, aman, dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Antara News. (2023, Februari 21). *KLHK dorong industrialisasi pengelolaan sampah*. <https://www.antaranews.com/berita/3349350/klhk-dorong-industrialisasi-pengelolaan-sampah>
- Anuar, M. R., et al. (2021). Study on the efficiency of pyrolysis reactors in plastic waste conversion. *Journal of Renewable Energy*, 45(3), 123–135.
- Anwar, I., Rahman, J., Setiawan, H., & Syawaldi. (2021). Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik baja AISI 1045 dengan media pendingin air. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(3), 152–157.
- Basu, P. (2013). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction* (2nd ed.). Academic Press.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Chen, L., & Wu, J. (2018). Effect of reactor wall thickness on structural integrity in high-temperature pyrolysis systems. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 140(5), 88–102.
- Demirbas, A. (2009). *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. Springer.
- Demirbaş, A. (2009). Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(1), 97–102.

- Fogler, H. S. (2016). *Elements of chemical reaction engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Ilham, M., et al. (2024). Plastic waste pyrolysis reactors with integration of rocket stove and advanced heat transfer system. *BIO Web of Conferences*.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer* (6th ed.). Wiley.
- Jha, K. K., Kannan, T. T. M., Chandradass, J., Wilson, D. V. H., & Das, A. (2021). Analysis and simulation of mini pyrolysis reactor for conversion of plastic waste into fuel. *Materials Today: Proceedings*, 45, 7166–7171. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.408>
- Kim, Y. J., et al. (2021). Optimizing pyrolysis reactor design for improved thermal efficiency and plastic waste conversion. *Chemical Engineering Journal*, 89(6), 543–558.
- Kochmann, D. M. (2025). *Introduction to finite element analysis (Spring 2025)* [Lecture notes]. Mechanics & Materials Lab, Institute of Mechanical Systems, Department of Mechanical and Process Engineering, ETH Zurich.
- Kompas.com. (2023, Juni 15). *Sepanjang tahun 2022, ada 12,54 juta ton sampah plastik di Indonesia*. <https://www.kompas.com/properti/read/2023/06/15/180000421/sepanjang-tahun-2022-ada-12-54-juta-ton-sampah-plastik-di-indonesia>
- Konsultan Perizinan. (2024). *Memahami desain industri: Definisi, tujuan, dan manfaat utama bagi bisnis*. <https://konsultanperizinan.co.id/memahami-desain-industri-definisi-tujuan-dan-manfaat-utama-bagi-bisnis/>

- Kurniawan, A., Sugiarto, B., & Perdana, A. (2020). Design of a simple pyrolysis reactor for plastic waste conversion into liquid fuel using biomass as heating source. *Eksergi*, 17(1), 1–6.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering* (3rd ed.). Wiley.
- Lopez, G., et al. (2020). Advanced pyrolysis of plastic waste for chemicals, fuel, and materials. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- Moaveni, S. (2020). *Finite element analysis: Theory and application with ANSYS* (5th ed.). Pearson.
- Mohan, D., Pittman Jr, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels*, 20(3), 848–889.
- Mulyanto, T., & Sapto, A. D. (2017). Analisis tegangan Von Mises poros mesin pemotong umbi-umbian dengan software SolidWorks. *Jurnal Presisi*, 18(2), 24–29.
- Nofendri, Y., & Haryanto, A. (2021). Perancangan alat pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(1), 1–11. <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/index>
- Nugroho, A. (2008). *Perancangan alat bantu untuk proses permesinan pada mesin chamfering DR 99 di industri sepeda motor dengan metode DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)* [Skripsi, Universitas Indonesia].
- Putra, E. M. B. L., Ariswan, A., & Fernandez, S. T. (2018). Analisis elastisitas dan karakterisasi kimia logam baja SS 304, SS 310, dan low alloy dengan menggunakan tensile test machine. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 23–30.

- Putra, R. H., & Prabowo, B. (2020). Desain dan analisa reaktor pirolisis limbah plastik tipe batch. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 77–85.
- Qowasmi, F. N., Sudarti, & Yushardi. (2023). Efektivitas larva black soldier fly (maggot) sebagai metode alternatif penguraian sampah organik.
- Rahman, A. A., et al. (2019). Material selection for high-temperature pyrolysis reactors: A comparative study. *Applied Thermal Engineering*, 62(1), 45–57.
- Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. (2021). Pengolahan sampah plastik dengan metode pirolisis menjadi bahan bakar minyak. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 8–14. <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Rijono, D. R. V., Tangkuman, S., & Luntungan, H. (2023). Rancang bangun tabung pirolisis pada alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. *Jurnal Tekno Mesin*, 9(1), 1–8.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
- Shoula, A., et al. (2024). Modeling and numerical study of thermomechanical behavior of a pyrolysis reactor. *International Journal on Technical and Physical Engineering*, 16(2), 24–31.
- Situmorang, R. (2021). *Proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik dengan reaktor ganda* [Skripsi Sarjana, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara].
- Sugiyono. (2015). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.

- Thiele, A., et al. (2023). Material selection and manufacturing for high-temperature heat exchangers. *International Journal of Ceramic Engineering and Science*.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2022). *Chemical engineering design* (3rd ed.). Elsevier.
- Turton, R., et al. (2012). *Analysis, synthesis and design of chemical processes* (4th ed.). Prentice Hall.
- Wibowo, W. (2000). *Analisis getaran pada proses pemotongan logam menggunakan simulasi elemen hingga LS-DYNA* [Skripsi, Universitas Gadjah Mada].
- Zulfika, D. N. (2023). Analisis pengaruh jenis material stainless steel dan waktu perendaman larutan H_2SO_4 terhadap laju korosi. *Jurnal Keteknikan*, 9(2), 45–54.