



**Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Galuh**

JURNAL MESIN GALUH



**Vol.5, No.01
(2026)**



JURNAL MESIN GALUH

ISSN 2985-9093



Vol.5 No.01 Januari 2026

- | | |
|--|----------------|
| PERANCANGAN ALAT PENDINGIN HELM BERBASIS
PTC (<i>POSITIVE TEMPERATURE COEFFICIENT</i>)
Ade Herdiana, Zenal Abidin, Dian Ahmad Aryanto | 1 - 12 |
| ANALISIS KINERJA PENDINGIN HELM MENGGUNAKAN
METODE DESAIN FAKTORIAL 2^3
Irna Sari Maulani, Edi Sukmara, Khoirul Fuady | 13 - 26 |
| PERANCANGAN PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
MENJADI BAHAN BAKAR BIOSOLAR DENGAN KAPASITAS
3 KILO GRAM DI DESA SUKAMUKTI KAB. TASIKMALAYA
Tia Setiawan, Ade Herdiana, Angga Mulya Lugina | 27 - 46 |
| PEMBUATAN ALAT PIROLISIS SAMPAH PLASTIK
MENJADI BAHAN BAKAR BIOSOLAR
Slamet Riyadi, Heris Syamsuri, Gilang Maulana Muhammad | 47 - 59 |
| RANCANG BANGUN MESIN BUBUT CAMSHAFT
PADA SEPEDA MOTOR
Zenal Abidin, Heris Syamsuri, Yogi Herdiansah | 60 - 78 |



JURNAL MESIN GALUH

ISSN 2985-9093



Vol.5 No.01 Januari 2026

Jurnal Mesin Galuh (JMG) dikelola oleh Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Galuh. Jurnal ilmiah di bidang teknologi tepat guna dan terapannya terbit 2 kali dalam setahun, yaitu bulan Januari dan Juli.

Penanggung Jawab : Ketua Program Studi Teknik Mesin
Ir. Slamet Riyadi, S.T., M.T.

Pimpinan Redaksi : Ir. Irna Sari Maulani, S.Si., M.T.

Mitra Bestari : 1. Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T.
(Universitas Pasundan Bandung)

2. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.
(Universitas Pasundan Bandung)

3. Ir. Engkos Koswara, M.T.
(Universitas Majalengka)

4. Nia Nuraeni Suryaman
(Universitas Widyatama)

5. Ir. Heris Syamsuri, S.T., M.T.
(Universitas Galuh Ciamis)

Redaksi Pelaksana : 1. Ir. Ade Herdiana, S.T., M.T.
2. Ir. Tia Setiawan, S.T., M.T.
3. Ir. Zenal Abidin, S.T., M.T.

SEKERTARIAT REDAKSI

JURNAL MESIN GALUH (JMG)

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Galuh Jln. RE. Martadinata No 150 Ciamis

Email: mesin.galuh@gmail.com

Website: <https://ojs.unigal.ac.id/index.php/jmg>



JURNAL MESIN GALUH

ISSN 2985-9093



Vol.5 No.01 Januari 2026

PENGANTAR REDAKSI

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kepada Allah SWT selalu kami panjatkan, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya Jurnal Mesin Galuh Volume 5, Nomor 1, Januari 2026 bisa diterbitkan secara elektronik (E-Jurnal) dengan 5 artikel. Jurnal ini diterbitkan sebagai wahana sosialisasi dan diseminasi hasil penelitian bagi kalangan akademisi maupun masyarakat luas, pada bidang teknologi tepat guna dan terapannya. Bidang kajian yang dicakup dalam jurnal ilmiah adalah teknologi tepat guna yang dipublikasikan dari ilmu pemmesinan seperti konstruksi, metalurgi, konversi energi dan ilmu terapan lainnya.

Penyebarluasan informasi terhadap hasil-hasil penelitian tersebut dapat disampaikan melalui publikasi atau Jurnal ilmiah yang diwadahi dalam Jurnal Mesin Galuh diterbitkan oleh Program Studi Teknik Mesin merupakan salah satu sarana dan wadah bagi para peneliti untuk dapat mendiseminasikan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan serta sekaligus juga bisa sebagai sarana untuk meningkatkan profesionalitas.

Pada edisi ke lima nomor satu ini, JMG menyajikan 5 (lima) buah artikel yang bervariasi mulai dari permesinan, metalurgi dan konversi energi, keberagaman konten tersebut menunjukkan bahwa terapan teknologi di masyarakat sangat luas dan terbuka berbagai peluang penelitian terkait.

Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas Jurnal, kami akan terus berupaya untuk lebih baik. Oleh sebab itu, masukan dan saran dari semua pihak sangat diharapkan agar ke depan Jurnal Mesin Galuh (JMG) bisa lebih baik lagi. Hal ini memberikan semangat bagi kami untuk terus mengelola jurnal ini agar dapat terus terbit dan terus meningkat kualitasnya. Akhirnya kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga terbitnya Jurnal ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan petunjuk kepada kita semua, dan semoga kita dapat berkarya lebih baik lagi di masa yang akan datang, Amin.

REDAKSI

PERANCANGAN PIROLISIS SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR BIOSOLAR DENGAN KAPASITAS 3 KILO GRAM DI DESA SUKAMUKTI KABUPATEN TASIKMALAYA

Tia Setiawan ¹⁾, Ade Herdiana ²⁾, Angga Mulya Lugina ³⁾

(1,2,3) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Galuh

Email: tiasetiawan405@gmail.com, adethemox@gmail.com, angga_mulyalugina@gmail.com

Abstract

The continuous increase in plastic waste has become a critical environmental issue, particularly in densely populated areas such as Sukamukti Village, Tasikmalaya Regency. Improperly managed plastic waste accumulation leads to soil and water pollution, disrupting ecosystems and necessitating innovative management solutions. This study aims to design and develop an efficient, cost-effective, and environmentally friendly household-scale pyrolysis device to convert plastic waste into biosolar fuel. The research methodology includes a literature review to examine pyrolysis technology, technical design of the device with a capacity of 3 kg per process, prototype construction using materials such as heat-resistant steel for the reactor and copper piping for the condenser, and performance testing of the device on specific plastic types, such as polyethylene (PE) and polypropylene (PP). The pyrolysis process is conducted at an optimal temperature range of 350–450°C to produce pyrolysis oil as a liquid fuel, along with gas and solid residue. The device is designed with ease of use, operational safety, and affordable production costs in mind, making it suitable for household application. The results of this study are expected to significantly contribute to reducing plastic waste volume, promoting the use of renewable energy, and raising community awareness about sustainable waste management. Additionally, this research aims to create local economic opportunities through the utilization of alternative fuels derived from plastic waste.

Keywords: Plastic Waste, Pyrolysis, Biosolar Fuel, Renewable Energy, Waste Management.

ABSTRAK

Limbah plastik yang terus meningkat telah menjadi permasalahan lingkungan yang kritis, terutama di wilayah pemukiman padat penduduk seperti Desa Sukamukti, Kabupaten Tasikmalaya. Penumpukan limbah plastik yang tidak dikelola dengan baik menyebabkan pencemaran tanah, air, dan mengganggu ekosistem, sehingga memerlukan solusi inovatif untuk pengelolaannya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pirolisis skala rumah tangga yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan guna mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar biosolar. Metodologi penelitian mencakup studi literatur untuk mengkaji teknologi pirolisis, perancangan teknis alat dengan kapasitas 3 kg per proses, pembuatan prototipe menggunakan material seperti baja tahan panas untuk reaktor dan pipa tembaga untuk kondensor, serta pengujian kinerja alat terhadap jenis plastik tertentu seperti polietilena (PE) dan polipropilena (PP). Proses pirolisis dilakukan pada

suhu optimal 350–450°C untuk menghasilkan minyak pirolisis sebagai bahan bakar cair, gas, dan residu padat. Alat ini dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan penggunaan, keamanan operasional, dan biaya produksi yang terjangkau, sehingga cocok untuk diterapkan di tingkat rumah tangga. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi volume limbah plastik, mempromosikan pemanfaatan energi terbarukan, serta mendorong kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membuka peluang ekonomi lokal melalui pemanfaatan bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari limbah plastik.

Kata Kunci: Limbah Plastik, Pirolisis, Bahan Bakar Biosolar, Energi Terbarukan, Pengelolaan Sampah.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah plastik merupakan salah satu masalah lingkungan yang semakin mengkhawatirkan di seluruh dunia. Di Indonesia sendiri, berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2022, timbunan sampah plastik mencapai lebih dari 17% dari total sampah nasional. Mayoritas limbah ini tidak terkelola dengan baik dan menumpuk di lingkungan, mencemari tanah, air, dan bahkan rantai makanan. Menurut data dari United Nations Environment Programme (2022), lebih dari 300 juta ton plastik diproduksi setiap tahun, dan sekitar 11 juta ton berakhir di lautan.

Menurut penelitian sebelumnya salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan limbah plastik dengan mengubahnya menjadi energi melalui proses pirolisis, Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen (*anoxic*) yang dapat menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan padat. pirolisis merupakan metode yang efisien untuk mengonversi limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif karena proses ini tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan dapat dilakukan dalam skala kecil hingga industri besar (Singh, R (2018).

Menurut penelitian sebelumnya Wibowo (2019), suhu optimal pirolisis plastik jenis *polietilena* (PE) dan *polipropilena* (PP) berkisar pada 350°C–450°C. Pada suhu ini, ikatan molekul plastik mulai terpecah dan menghasilkan gas volatil.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk mengangkat judul Perancangan Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Biosolar Dengan Kapasitas 3 Kg Di Desa Sukamukti Kabupaten Tasikmalaya, fakta di lapangan di desa sukamukti pengolahan sampah palstik hanya sampai pengepul itu pun

tidak semua sampah plastik bisa di jual hanya jenis tertentu saja sehingga perlu inovasi baru seperti pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar biosolar dan perlu penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan, bagaimana merancang alat pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar biosolar?

LANDASAN TEORI

II.1 Perancangan

Perancangan merupakan proses awal yang sangat penting dalam pengembangan suatu alat atau sistem. Menurut Nurhadi (2020), perancangan adalah proses sistematis untuk menghasilkan suatu produk yang dapat memecahkan masalah tertentu, melalui tahapan identifikasi kebutuhan, formulasi ide, penggambaran desain, dan evaluasi teknis. Dalam konteks ini, perancangan alat pirolisis bertujuan untuk menciptakan alat yang mampu mengolah limbah plastik rumah tangga menjadi bahan bakar alternatif secara efektif, efisien, dan aman digunakan oleh masyarakat umum.

Menurut Sutrisno (2019), proses perancangan alat harus mempertimbangkan tiga aspek utama, yaitu: (1) fungsi alat, (2) kemudahan pembuatan dan pengoperasian, serta (3) keamanan bagi pengguna. Dalam hal alat pirolisis, perancang perlu memastikan bahwa seluruh komponen seperti reaktor, pemanas, kondensor, dan penampung hasil pirolisis dapat bekerja secara sinergis dan terbuat dari material yang tahan terhadap suhu tinggi dan senyawa kimia hasil dekomposisi plastik.

Lebih lanjut, menurut Wulandari dan Kurniawan (2021), perancangan alat pirolisis skala rumah tangga memerlukan pendekatan sederhana namun fungsional. Hal ini mencakup penggunaan komponen yang mudah ditemukan di pasaran, sistem pemanas

yang hemat energi (seperti menggunakan LPG), serta desain kondensor yang mampu mendinginkan gas secara maksimal agar hasil minyak pirolisis yang didapat optimal. Mereka juga menekankan pentingnya penyesuaian dimensi alat agar sesuai dengan kebutuhan rumah tangga, yaitu mampu mengolah 1–2 kg limbah plastik per batch.

Pemilihan material juga menjadi hal penting dalam perancangan. Menurut Santosa (2020), reaktor pirolisis idealnya dibuat dari baja karbon atau baja tahan karat yang mampu menahan suhu hingga 500°C dan tidak mudah korosi. Untuk pipa dan kondensor, bahan seperti tembaga atau aluminium disarankan karena memiliki konduktivitas panas tinggi yang dapat mempercepat proses kondensasi gas pirolisis menjadi cair.

Dengan pendekatan yang tepat, perancangan alat pirolisis skala rumah tangga tidak hanya dapat mengurangi volume limbah plastik, tetapi juga memberi manfaat ekonomi melalui pemanfaatan bahan bakar cair hasil pirolisis. Desain yang baik harus mencakup efisiensi energi, kemudahan perawatan, serta keselamatan bagi pengguna, sehingga alat dapat digunakan secara berkelanjutan di lingkungan masyarakat.

II.2 Prinsip Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan organik, termasuk plastik, yang dilakukan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat minim. Menurut Mulyadi (2020), proses pirolisis bekerja dengan memutuskan ikatan kimia dalam rantai panjang polimer plastik, sehingga menghasilkan senyawa hidrokarbon yang lebih sederhana dalam bentuk gas, cair (minyak pirolisis), dan residu padat (*char*).

Secara umum, prinsip pirolisis terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu pemanasan awal (*pre-heating*), dekomposisi termal (*thermal cracking*), dan pendinginan/kondensasi. Pada tahap awal, plastik

dipanaskan hingga mencapai suhu antara 300°C hingga 500°C di dalam reaktor tertutup. Menurut Wibowo (2019), suhu optimal pirolisis plastik jenis *polietilena* (PE) dan *polipropilena* (PP) berkisar pada 350°C–450°C. Pada suhu ini, ikatan molekul plastik mulai terpecah dan menghasilkan gas volatil.

Gas yang terbentuk selanjutnya dialirkan ke dalam sistem kondensor, di mana suhu diturunkan secara cepat sehingga gas berubah menjadi cairan berupa minyak pirolisis. Minyak ini memiliki karakteristik serupa dengan bahan bakar minyak ringan dan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Sebagian gas yang tidak terkondensasi dapat digunakan kembali sebagai bahan bakar pemanas (*gas combustibles*), seperti yang disampaikan oleh Hartono (2021), sehingga meningkatkan efisiensi energi sistem pirolisis.

Proses pirolisis sendiri dapat dikategorikan menjadi tiga jenis berdasarkan kecepatannya, yaitu:

1. *Slow Pyrolysis* (Pirolisis Lambat) – dilakukan pada suhu rendah dengan waktu pemanasan yang lama, menghasilkan lebih banyak residu padat.
2. *Fast Pyrolysis* (Pirolisis Cepat) – dilakukan pada suhu tinggi dan waktu singkat, menghasilkan lebih banyak minyak pirolisis.
3. *Flash Pyrolysis* – proses sangat cepat yang memaksimalkan produksi gas dan minyak dalam waktu yang sangat singkat.

Untuk skala rumah tangga, jenis pirolisis yang paling sesuai adalah pirolisis lambat atau semi-cepat, karena sistemnya lebih sederhana dan tidak memerlukan kontrol suhu yang terlalu presisi. Menurut Putra dan Lestari (2021), penerapan prinsip pirolisis semi-cepat dengan sistem batch mampu menghasilkan konversi plastik menjadi minyak hingga 60–70% dari total massa plastik, tergantung pada jenis dan kemurnian plastik yang digunakan.

Dengan memahami prinsip dasar ini, rancangan alat pirolisis dapat disesuaikan secara teknis agar mampu menghasilkan bahan bakar cair secara optimal, aman, dan hemat energi untuk kebutuhan masyarakat.

II.3 Jenis-Jenis Plastik yang Dapat Dipirolisis

Tidak semua jenis plastik memiliki karakteristik yang sama dalam proses pirolisis. Setiap jenis plastik memiliki struktur kimia dan titik leleh yang berbeda, sehingga berpengaruh terhadap hasil dan efisiensi konversi menjadi bahan bakar. Menurut Yuliana (2020), jenis plastik yang paling efektif untuk proses pirolisis adalah plastik termoplastik, yaitu plastik yang dapat meleleh dan berubah bentuk ketika dipanaskan.

Berikut adalah beberapa jenis plastik yang umum digunakan dalam pirolisis:

1. *Polyethylene* (PE)
 - a. Terdiri atas dua jenis utama: *High-Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE).
 - b. Digunakan dalam kantong plastik, botol deterjen, ember, dan pipa.
 - c. Menurut Andrianto (2021), PE menghasilkan minyak pirolisis dalam jumlah besar dan relatif stabil dalam proses dekomposisi termal.
2. *Polypropylene* (PP)
 - a. Banyak ditemukan dalam wadah makanan, sedotan, tutup botol, dan peralatan rumah tangga.
 - b. PP memiliki kandungan hidrokarbon tinggi dan cocok untuk produksi bahan bakar cair.
 - c. Pirolisis PP menghasilkan fraksi minyak dengan kandungan energi yang tinggi.
3. *Polystyrene* (PS)
 - a. Digunakan dalam wadah makanan berbusa (styrofoam), peralatan elektronik, dan mainan.

- b. Dapat menghasilkan minyak pirolisis aromatik yang berpotensi sebagai bahan bakar atau pelarut.
- c. Namun, prosesnya perlu pengendalian suhu yang lebih hati-hati karena berpotensi menghasilkan senyawa berbahaya.

4. *Polyethylene Terephthalate* (PET)

- a. Umumnya digunakan dalam botol minuman.
- b. PET kurang ideal untuk pirolisis karena menghasilkan senyawa aromatik kompleks dan residu yang lebih banyak.
- c. Menurut Lestari (2019), PET sebaiknya tidak dijadikan bahan utama pirolisis skala rumah tangga karena konversinya rendah.

5. *Polyvinyl Chloride* (PVC)

- a. Ditemukan dalam pipa plastik, tirai kamar mandi, dan kabel.
- b. Tidak disarankan untuk proses pirolisis, karena menghasilkan gas beracun seperti HCl (hidrogen klorida) yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan.
- c. Dalam konteks skala rumah tangga, plastik yang paling aman dan efisien untuk dipirolisis adalah HDPE, LDPE, dan PP. Selain mudah ditemukan sebagai limbah rumah tangga, ketiga jenis plastik ini memiliki tingkat konversi ke bahan bakar cair yang tinggi, dengan risiko polusi yang relatif rendah jika dibandingkan dengan PET dan PVC.

Pemilahan jenis plastik sebelum proses pirolisis sangat penting untuk menghindari emisi gas beracun dan kerusakan alat. Oleh karena itu, edukasi terhadap masyarakat tentang identifikasi jenis plastik dan pemisahan awal menjadi bagian penting dalam implementasi alat pirolisis skala rumah tangga.

II.4 Solidworks

Menurut Arif Syamsudih SOLIDWORKS adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh DASSAULT SYSTEMES digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part nya dibuat atau sebelum dibuat tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. SolidWorks diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai pesaing untuk program CAD seperti Pro / ENGINEER, NX Siemens, I-Deas, Unigraphics, Autodesk Inventor, Autodeks AutoCAD dan CATIA. dengan harga yang lebih murah. SolidWorks Corporation didirikan pada tahun 1993 oleh Jon Hirschtick, dengan merekrut tim insinyur untuk membangun sebuah perusahaan yang mengembangkan perangkat lunak CAD 3D, dengan kantor pusatnya di Concord, Massachusetts, dan merilis produk pertama, SolidWorks 95, pada tahun 1995.

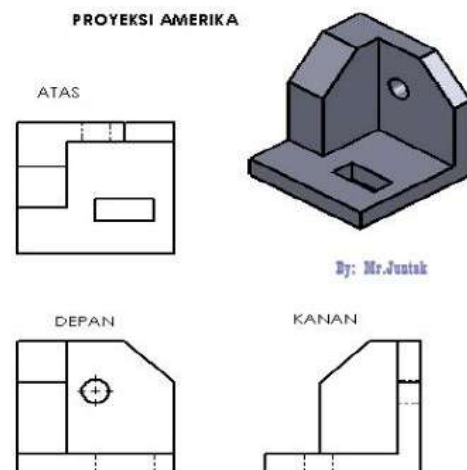
Pada tahun 1997 Dassault Systèmes, yang terkenal dengan CATIA CAD software, mengakuisisi perusahaan dan sekarang ini memiliki 100% dari saham SolidWorks. SolidWorks dipimpin oleh John McEleney dari tahun 2001 hingga Juli 2007, dan sekarang dipimpin oleh Jeff Ray. Saat ini banyak industri manufaktur yang sudah memakai software ini, menurut informasi WIKI, SolidWorks saat ini digunakan oleh lebih dari 3/4 juta insinyur dan desainer di lebih dari 80.000 perusahaan di seluruh dunia. kalau dulu orang familiar dengan AUTOCAD untuk desain perancangan gambar teknik seperti yang penulis alami tapi sekarang dengan mengenal SOLIDWORKS maka AUTOCAD sudah jarang saya pakai. Tapi itu tentunya tergantung kebutuhan masing-masing.

II.5 Proyeksi

Proyeksi merupakan penggambaran yang menunjukkan suatu objek yang terlihat dari depan, kanan, kiri, atas, dan bawah. Pandangan proyeksi diposisikan sejajar dan saling berhubungan antara yang satu dengan yang lain sesuai dengan aturan-aturan standar. Standar ini telah diakui di seluruh penjuru dunia dan menjadi patokan paten dalam menggambar. Dalam proyeksi sendiri terbagi atas beberapa jenis proyeksi diantaranya.

2.5.1 Proyeksi Amerika

Proyeksi merupakan penggambaran yang menunjukkan suatu objek yang terlihat dari depan, kanan, kiri, atas, dan bawah. Pandangan proyeksi diposisikan sejajar dan saling berhubungan antara yang satu dengan yang lain sesuai dengan aturan-aturan standar. Standar ini telah diakui di seluruh penjuru dunia dan menjadi patokan paten dalam menggambar. Dalam proyeksi sendiri terbagi atas beberapa jenis proyeksi diantaranya.

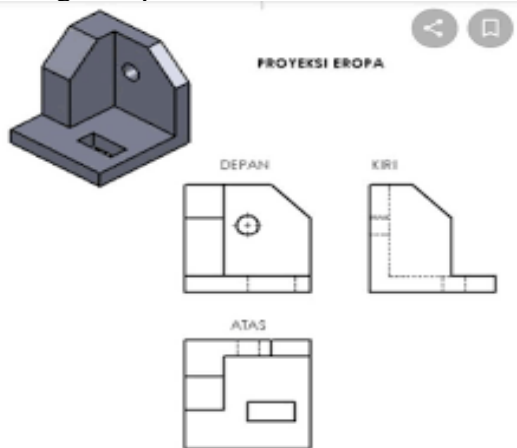


Gambar 2. 1 Proyeksi Amerika

2.5.2 Proyeksi Eropa

Proyeksi bisa disebut proyeksi ISO, proyeksi sudut pertama atau proyeksi kuadran satu. Proyeksi Eropa merupakan proyeksi yang letaknya terbalik dengan arah pandangnya. Pandangan atas yang berada dibawah pandangan depan, pandangan kiri

berada pada disisi kanan pandangan depan, dan pandangan kanan berada disamping kiri pandangan depan.



Gambar 2. 2 Proyeksi Eropa

II.6 Konstruksi Pirolisis Sampah

Konstruksi alat pirolisis sampah dirancang untuk mendukung proses pemanasan termal tanpa oksigen sehingga sampah organik dapat terurai menjadi gas, minyak pirolisis, dan arang. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang saling terintegrasi agar proses pirolisis berjalan efisien dan aman.

a. Reaktor Pirolisis

Reaktor adalah ruang tertutup tempat proses pirolisis berlangsung. Bahan utama reaktor biasanya terbuat dari baja tahan panas (mild steel atau stainless steel) karena harus mampu menahan suhu tinggi (300–600°C). Reaktor dilengkapi dengan penutup rapat untuk mencegah masuknya oksigen.

b. Pemanas (Heater)

Pemanas berfungsi menaikkan suhu dalam reaktor. Sumber panas bisa berasal dari kompor gas.

c. Pipa Konduksi dan Kondensor

Uap hasil pirolisis dialirkan melalui pipa konduksi menuju kondensor. Kondensor akan mendinginkan uap menjadi cairan berupa minyak pirolisis (*bio-oil*). Pipa

biasanya terbuat dari logam tahan panas dan tekanan.

d. Kondensor

Alat ini mendinginkan gas hasil pirolisis agar berubah menjadi minyak pirolisis. Sistem pendingin bisa menggunakan air atau udara. Bentuknya menyerupai tabung berisi lilitan pipa dan dinding logam berpendingin.

e. Tangki Penampung

Minyak dan gas hasil kondensasi ditampung dalam tangki khusus. Tangki harus tahan terhadap korosi dan tekanan.

f. Sistem Pembuangan Gas Sisa

Gas yang tidak terkondensasi bisa dibakar sebagai bahan bakar tambahan (*syngas*) atau dibuang melalui cerobong pembuangan.

g. Isolasi Termal

Seluruh badan reaktor biasanya dilapisi bahan isolasi seperti rockwool atau semen tahan panas untuk menjaga efisiensi panas dan melindungi operator dari suhu tinggi.

II.7 Bahan dan Material

Pemilihan bahan pada alat ini mempertimbangkan ketahanan panas, kemudahan perakitan, dan biaya produksi. Dalam pembuatan alat pirolisis, bahan dan material yang di gunakan harus mampu menahan suhu tinggi serta tahan terhadap reaksi kimia selama proses pirolisis berlangsung. Berikut adalah daftar bahan dan material utama yang di gunakan:

a. Drum atau Tabung Logam

Digunakan sebagai reactor pirolisis. Umumnya menggunakan drum bekas (misalnya drum oli) berbahan baja yang tahan panas dan mudah di modifikasi.

b. Pipa besi atau Baja (steel pipe)

Digunakan sebagai saluran untuk gas hasil pirolisis menuju kondensor. Ukuran dan panjang pipa di sesuaikan dengan rancangan alat.

c. Kondensor (Pendingin Gas)

Terbuat dari pipa logam atau tabung logam yang dirangkai dengan sistem pendingin, bisa menggunakan air dingin untuk mempercepat kondensasi gas menjadi cairan.

d. Tangki Penampungan Hasil (Output Tank)

Berfungsi untuk menampung hasil pirolisis berupa minyak pirolisis (*bio oil*) atau bahan lainnya. Umumnya menggunakan tabung logam atau botol kaca Tahan panas.

e. Sumber Panas

Biasanya berupa kompor gas, tungku bahan bakar kayu, atau pembakar lainnya yang mampu menghasilkan suhu tinggi secara stabil.

f. Katup dan Fitting

Digunakan untuk mengatur aliran gas dan mencegah kebocoran. Ini harus tahan panas dan tekanan.

g. Isolasi Panas (Thermal Isulation)

Bahan seperti rockwool atau kaca wol digunakan untuk menjaga suhu di dalam reactor tetap tinggi dan efisien.

h. Alat Pengukur Suhu

Untuk memantau suhu dalam reaktor selama proses pirolisis berlangsung.

II.8 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam rangka mengembangkan alat pirolisis sebagai solusi pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif. Studi-studi tersebut menjadi dasar penting dalam merancang alat pirolisis skala rumah tangga yang sederhana, efisien, dan aman digunakan oleh masyarakat.

Salah satu penelitian dilakukan oleh Syaiful dkk. (2019) yang merancang alat pirolisis tipe batch menggunakan tabung baja dan pemanas LPG. Alat ini berhasil mengubah limbah plastik jenis HDPE dan PP menjadi bahan bakar cair dengan efisiensi konversi mencapai 60–70%. Studi ini menekankan pentingnya kontrol suhu pada

kisaran 400°C untuk mendapatkan hasil optimal.

Penelitian lain oleh Wulandari dan Setyawan (2020) mengembangkan alat pirolisis mini berbasis kompor minyak tanah. Desain alat yang digunakan sangat sederhana dan cocok untuk skala rumah tangga. Mereka menggunakan sistem kondensor pipa spiral tembaga dalam ember berisi air dingin untuk mendinginkan gas pirolisis. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam satu siklus proses pirolisis (± 2 jam), dapat dihasilkan sekitar 500 mL minyak pirolisis dari 1 kg plastik PP.

Sementara itu, penelitian oleh Hidayat (2021) mengembangkan sistem pirolisis semi-kontinu dengan sistem pemanas listrik. Penelitian ini lebih berorientasi pada efisiensi energi dan keberlanjutan proses, namun alat ini cenderung lebih kompleks dan mahal, sehingga kurang cocok untuk skala rumah tangga. Namun demikian, aspek pemanfaatan gas pirolisis sebagai bahan bakar ulang untuk sistem pemanas menjadi masukan penting dalam desain alat yang lebih hemat energi.

Selain dari segi teknis, studi oleh Rahmawati dan Lestari (2020) menyoroti pentingnya edukasi masyarakat dalam memilih jenis plastik yang aman untuk dipirolisis. Mereka menekankan bahwa keberhasilan implementasi alat pirolisis skala kecil tidak hanya tergantung pada alat, tetapi juga pada perilaku masyarakat dalam pengelolaan limbah plastik.

Dari studi-studi terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengembangan alat pirolisis skala rumah tangga sangat memungkinkan untuk dilakukan, dengan mempertimbangkan aspek desain sederhana, penggunaan bahan baku lokal, efisiensi termal, serta edukasi pengguna. Penelitian ini mengambil referensi dari pendekatan-pendekatan sebelumnya dan bertujuan mengembangkan alat yang lebih praktis serta terjangkau untuk digunakan di lingkungan rumah tangga.

II.9 Konsep Mekanika Bahan dalam Analisis FEM

Dalam perancangan alat pirolisis, analisis struktural menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) menjadi sangat penting untuk memvalidasi kekuatan, keamanan, dan keandalan desain terhadap beban termal dan mekanis yang dihasilkan selama proses pirolisis. FEM memungkinkan simulasi numerik untuk memprediksi perilaku struktur di bawah berbagai kondisi beban, sehingga memastikan bahwa komponen seperti reaktor, rangka, dan pipa kondensor dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami kegagalan. Berikut adalah konsep-konsep utama mekanika bahan yang relevan dalam analisis FEM untuk desain alat pirolisis:

A. Tegangan (Stress)

Tegangan adalah besaran fisika yang menggambarkan gaya internal yang bekerja pada suatu material akibat beban eksternal, seperti tekanan, gaya tarik, atau gaya geser. Menurut Shigley dan Mischke (2001), tegangan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas ($\sigma = F/A$) dan diukur dalam satuan Pascal (Pa) atau Newton per meter persegi (N/m^2). Dalam konteks alat pirolisis, tegangan dapat terjadi akibat pemanasan termal pada reaktor yang dipanaskan hingga 400–500°C atau akibat tekanan gas yang dihasilkan selama proses dekomposisi plastik. Dalam analisis FEM, kriteria tegangan von Mises digunakan untuk mengevaluasi tegangan ekuivalen, yang menggabungkan tegangan normal dan geser untuk menentukan apakah material akan mengalami kegagalan plastis. Kriteria ini sangat relevan untuk memastikan bahwa material reaktor, seperti baja SS400, tidak melampaui batas luluh (yield strength) selama operasi (Shigley & Mischke, 2001). Selain itu, distribusi tegangan pada sambungan las atau titik-titik kritis pada rangka juga dianalisis untuk mencegah

konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan retak atau deformasi permanen.

B. Regangan (Strain)

Regangan adalah ukuran deformasi relatif material akibat tegangan yang diterapkan, dihitung sebagai rasio perubahan panjang terhadap panjang awal ($\epsilon = \Delta L/L$). Menurut Beer dan Johnston (2012), regangan dapat dibagi menjadi dua jenis utama: regangan elastis, di mana material kembali ke bentuk aslinya setelah beban dihilangkan, dan regangan plastis, di mana terjadi deformasi permanen. Dalam desain alat pirolisis, analisis regangan menggunakan FEM membantu memastikan bahwa komponen seperti reaktor dan rangka tetap berada dalam regime elastis selama operasi, sehingga menghindari kerusakan permanen. Sebagai contoh, regangan termal akibat pemanasan reaktor hingga suhu tinggi harus dianalisis untuk memastikan bahwa deformasi tidak mengganggu kedap udara reaktor, yang krusial untuk mencegah masuknya oksigen selama proses pirolisis. Selain itu, regangan geser pada pipa kondensor juga diperiksa untuk memastikan bahwa sambungan pipa tidak mengalami kebocoran akibat tekanan gas pirolisis (Beer & Johnston, 2012). Analisis ini juga mempertimbangkan modulus elastisitas material, seperti baja karbon, untuk memprediksi perilaku deformasi di bawah beban operasional.

C. Perpindahan (Displacement)

Perpindahan mengacu pada perubahan posisi atau deformasi total suatu titik pada struktur akibat beban yang diterapkan, baik itu beban mekanis, termal, maupun gravitasi. Menurut Cook et al. (2002), analisis perpindahan dalam FEM diukur dalam satuan panjang (misalnya milimeter) dan digunakan untuk memastikan bahwa struktur tetap stabil dan tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan selama operasi. Dalam konteks alat pirolisis, perpindahan dianalisis untuk memverifikasi

bahwa rangka penyangga tidak bergeser secara berlebihan akibat beban berat dari reaktor atau tangki penampung. Selain itu, deformasi pada reaktor akibat pemuaian termal harus dijaga dalam batas yang aman untuk mencegah kerusakan pada sambungan atau kebocoran gas pirolisis. Analisis FEM memungkinkan visualisasi distribusi perpindahan di seluruh struktur, dengan fokus pada area kritis seperti sambungan las atau titik penyangga, untuk memastikan bahwa alat tetap berfungsi dengan baik selama siklus pirolisis berulang (Cook et al., 2002). Perpindahan yang berlebihan juga dapat memengaruhi efisiensi kondensasi, karena perubahan posisi pipa kondensor dapat mengganggu aliran gas.

D. Factor of Safety (FOS)

Faktor keamanan (FOS) adalah rasio antara kekuatan material (biasanya yield strength) terhadap tegangan maksimum yang dialami struktur, yang menunjukkan margin keamanan desain terhadap kegagalan. Menurut Suryadi, M.D (2009) FOS dihitung dengan rumus $FOS = \sigma_{yield} / \sigma_{max}$. Tegangan leleh material (yield strength), yaitu tegangan maksimum sebelum material mengalami deformasi permanen, sedangkan tegangan maksimum terjadi pada komponen saat beban kerja (working stress) di mana nilai standar industri untuk aplikasi statis berkisar antara 1.5 hingga 3 yang merupakan nilai panduan umum (Suryadi, M.D ,2009), tergantung pada tingkat risiko dan aplikasi. Dalam desain alat pirolisis, FOS sangat penting untuk memastikan bahwa komponen seperti reaktor dan rangka dapat menahan beban termal dan mekanis tanpa mengalami kegagalan. Misalnya, reaktor yang terbuat dari baja SS400 harus memiliki FOS yang cukup tinggi untuk menahan tekanan internal dari gas pirolisis serta suhu tinggi yang dapat menyebabkan kelelahan material (fatigue). Analisis FEM memungkinkan perhitungan FOS di setiap elemen struktur, dengan nilai

yang lebih tinggi menandakan desain yang lebih aman. Dalam praktiknya, FOS yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan overdesign, yang meningkatkan biaya, sehingga desain harus dioptimalkan untuk menyeimbangkan keamanan dan efisiensi biaya. Selain itu, analisis FOS juga mempertimbangkan faktor lingkungan, seperti korosi akibat paparan senyawa kimia dari pirolisis, untuk memastikan keandalan jangka panjang.

E. Hubungan dengan Desain Alat Pirolisis

Konsep-konsep mekanika bahan di atas diterapkan dalam analisis FEM untuk memastikan bahwa desain alat pirolisis memenuhi persyaratan fungsional dan keselamatan. Reaktor, sebagai komponen utama, harus dirancang untuk menahan tegangan termal dan mekanis akibat pemanasan hingga 500°C dan tekanan gas pirolisis.

Rangka penyangga harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban statis dari komponen lain tanpa deformasi signifikan, seperti yang dianalisis melalui perpindahan dan regangan. Pipa kondensor, yang terbuat dari material seperti tembaga atau aluminium, harus dianalisis untuk memastikan bahwa regangan dan perpindahan tidak mengganggu aliran gas atau menyebabkan kebocoran. Selain itu, FOS dihitung untuk setiap komponen kritis untuk memastikan bahwa alat dapat beroperasi secara berulang tanpa risiko kegagalan struktural.

Pendekatan ini memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi titik-titik lemah dalam desain, seperti sambungan las atau area dengan konsentrasi tegangan tinggi, dan melakukan penyempurnaan sebelum fabrikasi.

2.11 Panas pada Kondensor Pipa Tunggal

Kondensor pada alat pirolisis berfungsi sebagai penukar panas di mana uap produk panas didinginkan dan dikondensasi menjadi

cairan minyak pirolisis oleh media pendingin air.

Proses ini didominasi oleh mekanisme perpindahan panas konveksi dan konduksi. Tiga konsep utama yang digunakan untuk menganalisis kinerja kondensor adalah Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U), Laju Perpindahan Panas (Q), dan Perubahan Suhu Fluida.

1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U) mendefinisikan seberapa efisien panas dapat berpindah dari satu fluida ke fluida lain melalui batas-batas yang memisahkannya (dalam hal ini, dinding pipa).

Nilai U merupakan invers dari total resistansi termal (R_{total}) yang terjadi secara seri. Pada kasus pipa tunggal, perpindahan panas terjadi melalui tiga lapisan resistansi:

A. Resistansi Konveksi Dalam (R_i): Hambatan perpindahan panas dari fluida panas (uap produk) ke dinding dalam pipa.

B. Resistansi Konduksi Pipa (R_{konduk}): Hambatan perpindahan panas melalui material padat dinding pipa.

C. Resistansi Konveksi Luar (R_o): Hambatan perpindahan panas dari dinding luar pipa ke fluida dingin (air pendingin).

Rumus Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_o):

Koefisien U yang dihitung berdasarkan luas permukaan luar pipa (A_o) adalah:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{D_o \ln(D_o/D_i)}{2k_{\text{pipa}}} + \frac{1}{h_o}$$

Keterangan:

U_o : Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_i : Koefisien konveksi fluida dalam pipa ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_o : Koefisien konveksi fluida luar pipa ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Di: Diameter dalam pipa (m)

Do: Diameter luar pipa (m)

k_{pipa} : Konduktivitas termal material pipa ($W/m \cdot ^\circ C$)

Perhitungan Suhu Produk Akhir (T_{out}) dan Rumus Eksponensial

Untuk kasus di mana fluida yang suhunya berubah (uap produk) mengalir melalui pipa, dan fluida di luar pipa memiliki suhu yang konstan atau sangat besar (T_∞), perubahan suhu fluida yang mengalir tidak bersifat linear, melainkan eksponensial. Metode ini sangat relevan untuk sistem kondensor pasif di mana bak air pendingin dianggap memiliki kapasitas panas yang sangat besar.

Rumus Eksponensial Penurunan Suhu:

$$\frac{T_{out} - T_\infty}{T_{in} - T_\infty} = e^{-\frac{U_o A}{\dot{m} C_p}}$$

Penjelasan Rumus Eksponensial:

Suku Kiri (Rasio Suhu): Merupakan perbandingan antara selisih suhu akhir dengan suhu referensi (T_∞) terhadap selisih suhu awal dengan suhu referensi. Ini mencerminkan seberapa jauh fluida berhasil mencapai suhu lingkungan.

Suku Kanan (Eksponen):

$U_o A$ (Laju Perpindahan Panas Total):

Mencerminkan kemampuan kondensor untuk mentransfer panas. A adalah luas permukaan perpindahan panas ($\pi D_o L$).

$\dot{m} C_p$ (Kapasitas Laju Alir Panas):

Mencerminkan laju di mana fluida (uap produk) membawa energi panas. Semakin besar nilai ini, semakin sulit fluida didinginkan.

Rumus ini menunjukkan bahwa penurunan suhu fluida akan semakin lambat seiring suhu fluida

mendekati suhu lingkungan (T_∞). Kehadiran fungsi eksponensial ($e^{-\frac{U_o A}{\dot{m} C_p}}$) secara matematis

memodelkan proses asimptotik ini, di mana Tout hanya akan mencapai T_{∞} secara teoritis pada panjang pipa tak terhingga.

Sumber: Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications.

Perhitungan Kerugian Panas (Q)

Laju kerugian panas (Q) yang terjadi di kondensor adalah panas yang dilepaskan oleh uap produk dan diterima oleh air pendingin. Jika diasumsikan hanya terjadi penurunan suhu (panas sensibel) dan bukan perubahan fase (panas laten), maka Q dihitung sebagai energi yang hilang dari fluida panas.

Rumus Laju Kerugian Panas (Panas Sensibel):

$$Q = \dot{m}C_p(T_{in} - T_{out})$$

Keterangan:

Q: Laju perpindahan panas (kerugian panas) (Watt)

$\dot{m}$: Laju alir massa fluida (kg/s)

C_p : Kapasitas panas spesifik fluida (J/kg $\cdot$ $^{\circ}$ C)

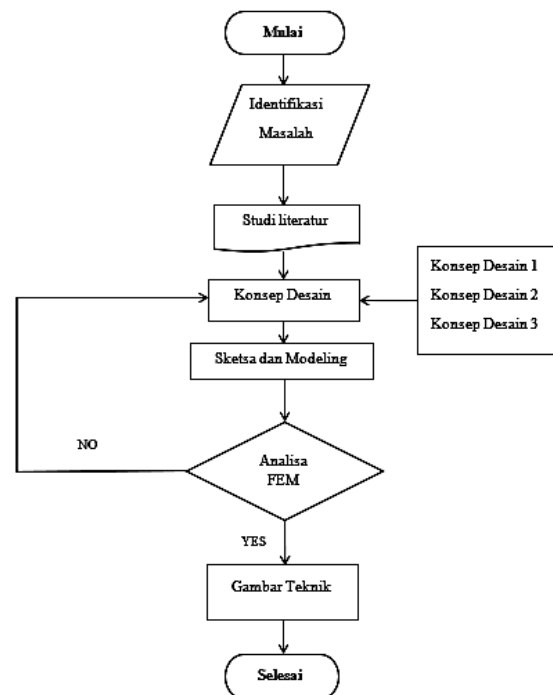
T_{in} : Suhu masuk fluida ($^{\circ}$ C)

T_{out} : Suhu keluar fluida ($^{\circ}$ C)

Dalam konteks kondensor pirolisis, sebagian besar energi panas yang hilang adalah panas laten yang dilepaskan selama perubahan fase dari uap menjadi cairan (kondensasi). Oleh karena itu, perhitungan panas sensibel di atas memberikan estimasi minimum energi yang harus ditransfer.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



3.1 Diagram Alir/Flow Chart

PEMBAHASAN

4.1 Konsep Desain

Berdasarkan evaluasi terhadap ketiga konsep desain yang telah dijelaskan, dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan, penulis memutuskan untuk memilih Konsep Desain 3 sebagai desain yang akan digunakan. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama. Konsep 3 menawarkan pemisahan komponen yang jelas antara reaktor, kondensor, dan tangki penampung, yang memudahkan perakitan, perawatan, dan penggantian komponen secara terpisah. Desain ini juga relatif kecil dan cocok untuk skala rumah tangga atau uji laboratorium, dengan dimensi reaktor berdiameter 25 cm dan tinggi 40 cm, serta kondensor berdiameter 20 cm dan tinggi 35 cm, yang tidak memerlukan ruang besar.

Kelebihan lainnya adalah proses pendingin uap menjadi bahan bakar yang lebih efisien berkat desain tertutup, sehingga meminimalkan kebocoran gas berbahaya.

Material yang digunakan, seperti plat besi tahan panas dan stainless steel, mudah didapat di pasar lokal, menjadikan desain ini ekonomis dan praktis untuk implementasi di Desa Sukamukti Kabupaten Tasikmalaya. Selain itu, uap pirolisis langsung dikondensasi dan disalurkan ke tangki penampung, meningkatkan efisiensi pemanenan minyak pirolisis.

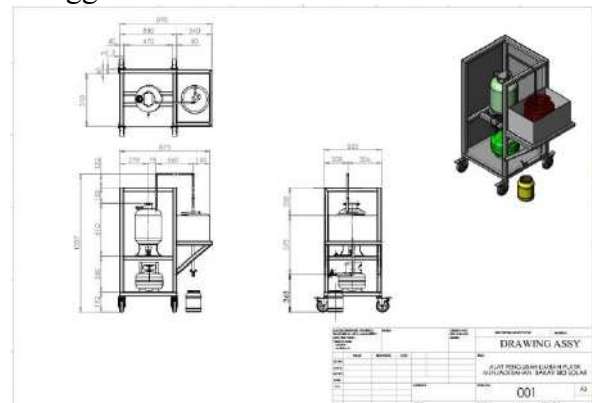
Meskipun terdapat kekurangan seperti ketiadaan sistem sirkulasi air pendingin aktif dan sensor suhu otomatis, keunggulan desain ini dalam kemudahan penggunaan dan adaptasi untuk skala kecil mengunggulinya dibandingkan konsep lain. Oleh karena itu, Konsep Desain 3 dipandang sebagai solusi yang paling sesuai untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu merancang alat pirolisis sederhana namun fungsional untuk pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar biosolar dengan kapasitas 3 kg.

Konsep desain untuk alat pengolah limbah plastik ini didasarkan pada prinsip pirolisis semi-cepat yang bertujuan untuk menghasilkan bahan bakar cair (biosolar) dari sampah plastik. Konsep ini dipilih karena dinilai paling cocok untuk skala rumah tangga atau industri kecil, mengingat waktu dan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan pirolisis lambat. Desain alat dibuat dalam bentuk unit mobile yang ringkas dan fungsional, dengan kerangka utama yang kokoh dari baja berprofil hollow 40x40 mm dan dilengkapi dengan roda. Konfigurasi ini memungkinkan pengguna untuk memindahkan alat dengan mudah ke lokasi yang berbeda, menjadikan fleksibilitas dalam penggunaan. Selain itu, desain ini mengintegrasikan seluruh komponen utama reaktor, tungku pemanas, dan sistem kondensor dalam satu kesatuan, sehingga memudahkan instalasi dan pengoperasian.

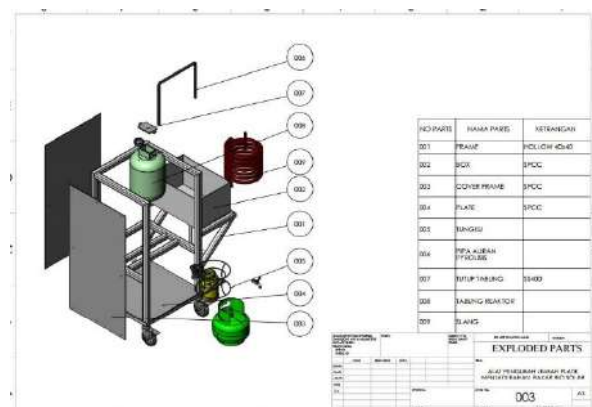
Pemilihan konsep desain ini juga mempertimbangkan faktor keamanan dengan memastikan reaktor tertutup rapat dan stabil, serta kemudahan dalam perawatan.

4.2 Hasil Perancangan

Hasil perancangan alat ini adalah sebuah prototipe fungsional yang dapat mengolah sampah plastik secara efektif. Desain akhir alat memiliki tampilan yang kokoh dan kompak, dengan semua komponen terpasang secara teratur pada rangka. Dimensi alat telah disesuaikan agar tidak memakan banyak ruang, sehingga bisa untuk penggunaan di area terbatas. Berikut adalah visualisasi hasil perancangan alat yang telah dibuat menggunakan software CAD *Solidworks*:



Gambar 4. 1 Gambar Desain Alat Pirolisis



Gambar 4. 2 Tampilan *Exploded View* dengan Daftar Komponen

Gambar tersebut memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana setiap

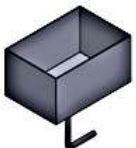
komponen terpasang dan berfungsi dalam keseluruhan sistem.

4.3 Spesifikasi Komponen

Setiap komponen yang dipilih untuk alat ini memiliki spesifikasi yang disesuaikan untuk menunjang proses pirolisis secara optimal. Berikut adalah detail spesifikasi komponen-komponen utama:

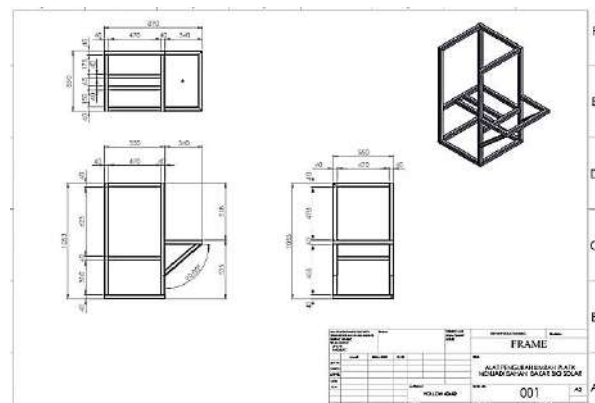
Tabel 4. 1 Spesifikasi Komponen

Komponen	Material / Ukuran	Fungsi	Gambar
Rangka (Frame)	Hollow Baja Karbon (SPCC) tinggi :870 mm, lebar :550 mm, panjang :470 mm	Struktur penopang utama, dilengkapi roda untuk mobilitas.	
Reaktor (Reactor Tube)	Baja Struktural SS400 Diameter :25 cm Tinggi :39 cm	Tempat terjadinya proses pirolisis, mampu menahan suhu tinggi hingga 500°C dan tekanan internal.	
Tutup Reaktor	SS400 Panjang :152 mm Lebar :80 mm	Memastikan kondisi kedap udara (anaerob) di dalam reaktor.	
Tungku (Furnace)	SPCC Diameter :235 mm Tinggi :155 mm	Sumber panas eksternal untuk memanaskan reaktor, menggunakan kompor gas.	
Pipa Kondensor	Pipa fleksibel Diameter : 12,7 mm Jumlah lilitan: 7 spiral Panjang 4 m	Mengubah gas pirolisis menjadi cairan dengan proses pendinginan cepat.	

Wadah Pendingin	SPCC Panjang tangki: 47 cm Lebar: 32 cm Tinggi: 25 cm	Kotak berisi air sebagai media pendingin untuk pipa kondensor.	
Tangki Penampung	-	Menampung hasil minyak pirolisis yang sudah terkondensasi.	
Termometer	-	Memantau temperatur di dalam reaktor selama proses dekomposisi	

4.4 Pembahasan

4.4.1 Desain Rangka



Gambar 4. 3 Desain rangka

Berdasarkan gambar 4.3, rangka memiliki dimensi keseluruhan dengan tinggi 870 mm, lebar 550 mm, dan panjang 470 mm. Desain ini mencakup beberapa pandangan proyeksi, yaitu tampak depan, samping, atas, dan perspektif 3D, yang memberikan gambaran lengkap tentang struktur. Bagian bawah rangka dilengkapi dengan kaki penyangga yang kokoh, sedangkan sisi kanan dilengkapi dengan pelat tambahan pada ketinggian 310 mm untuk mendukung pemasangan komponen tangki penampung dan kondensor. Pelat ini memiliki sudut kemiringan untuk

memudahkan aliran minyak pirolisis ke dalam tangki.

Penempatan komponen pada rangka dirancang secara strategis untuk menjaga keseimbangan alat dan mempermudah akses selama perawatan atau pengoperasian. Tinggi total 870 mm memungkinkan ruang yang cukup untuk reaktor dan sistem kondensor, dengan jarak antar elemen yang diatur untuk keamanan.

4.4.2 Pemilihan Bahan

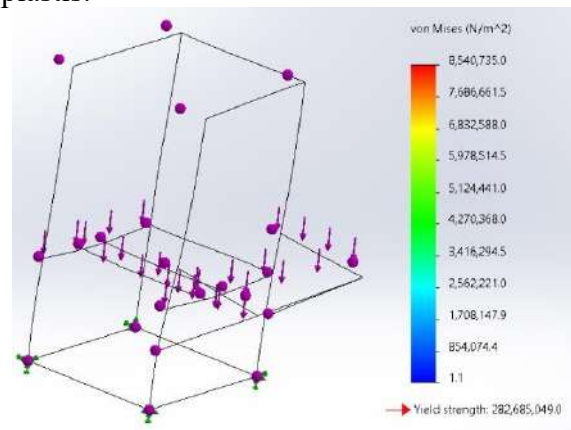
Pemilihan bahan untuk setiap komponen krusial untuk memastikan kinerja dan keamanan alat dalam jangka panjang. Baja SS400 dipilih untuk reaktor karena kemampuannya menahan suhu ekstrem dan tekanan internal yang dihasilkan selama proses pirolisis. Material ini memiliki titik leleh yang jauh di atas suhu operasional (400-500°C), sehingga menjamin keamanan struktural. Untuk pipa kondensor, material dengan konduktivitas panas tinggi seperti tembaga atau aluminium adalah pilihan utama. Ini karena gas pirolisis perlu didinginkan secepat mungkin untuk memaksimalkan *yield* (hasil) minyak cair. Tembaga dan aluminium memiliki kemampuan mentransfer panas yang sangat baik, memastikan proses kondensasi berjalan dengan baik.

4.4.3 Analisis FEM

Analisis Finite Element Method (FEM) adalah simulasi komputer dengan CAD untuk memvalidasi desain, hasil dari analisis ini sangat dibutuhkan untuk uji tegangan, perpindahan, regangan, dan faktor keamanan (*Factor of Safety*). Beban yang diaplikasikan pada pengujian ini adalah beban statik sebesar 200 N pada area yang menerima beban yang berada di tengah rangka untuk menopang tangki, dengan material pengujian baja hollow 1023 *carbon steel sheet* pada *Solidworks*. Berikut adalah hasil simulasi analisis FEM menggunakan software CAD *Solidworks*.

A. Tegangan (*Stress*)

Uji tegangan mengukur gaya internal yang diberikan pada material akibat beban eksternal, seperti tekanan atau gravitasi, yang dapat menyebabkan deformasi. Dalam analisis ini, tegangan dihitung menggunakan kriteria *von Mises* untuk mengevaluasi tegangan ekuivalen secara menyeluruh. Hasilnya menunjukkan distribusi tegangan pada struktur, dengan nilai maksimum dibandingkan dengan *yield strength material* untuk menentukan apakah terjadi kegagalan plastis.



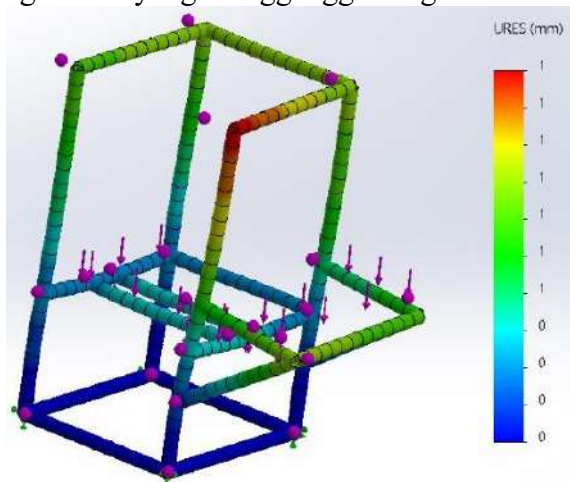
Gambar 4. 4 Tegangan

Gambar 4.4 menyatakan analisis tegangan menggunakan kriteria *von Mises* ini mengevaluasi tegangan ekuivalen pada struktur rangka alat pirolisis, yang disebabkan oleh beban eksternal seperti gaya gravitasi atau tekanan dari komponen (ditunjukkan oleh panah-panah ke bawah pada gambar). Skala warna menunjukkan distribusi tegangan dari rendah (biru, sekitar 1.1 Pa) hingga tinggi (merah, maksimum 8.540.735 Pa). Tegangan tertinggi terkonsentrasi di area sambungan atas dan tengah rangka, di mana beban paling besar diterapkan. Namun, nilai maksimum ini sangat rendah dibandingkan dengan *yield strength material* (282.685.049 Pa, ditandai dengan panah merah), menandakan bahwa struktur tidak mengalami kegagalan plastis. Secara keseluruhan, desain aman karena tegangan berada jauh di bawah batas material,

mungkin karena beban simulasi yang relatif kecil atau material yang kuat.

B. Perpindahan (*Displacement*)

Perpindahan mengacu pada perubahan posisi atau deformasi total suatu titik pada struktur akibat beban yang diterapkan. Analisis ini mengukur seberapa jauh struktur bergeser, yang ditunjukkan dalam satuan milimeter, untuk memastikan stabilitas dan kinerja alat selama operasi tanpa perubahan bentuk signifikan yang mengganggu fungsi.

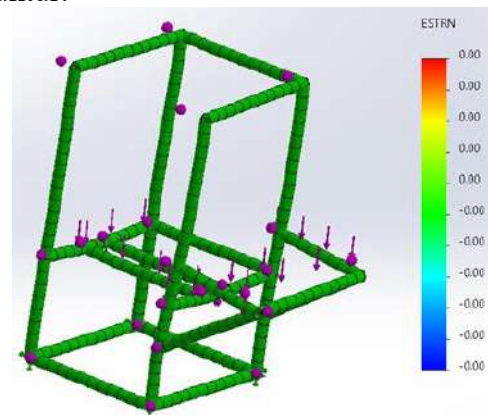


Gambar 4. 5 Perpindahan

Gambar 4.5 menyatakan analisis perpindahan (URES, atau *resultant displacement*) mengukur seberapa besar deformasi atau pergeseran struktur akibat beban. Skala warna berkisar dari biru (perpindahan minimal, 0 mm) hingga merah (maksimum sekitar 1 mm). Deformasi terbesar terlihat di bagian tengah dan atas rangka, terutama di area yang menerima gaya langsung (seperti batang horizontal dan sambungan), sementara basis bawah tetap stabil (warna biru dominan). Nilai maksimum 1 mm menunjukkan deformasi yang sangat kecil dan dapat diterima untuk aplikasi statis seperti ini, memastikan alat tetap stabil selama operasi pirolisis tanpa perubahan bentuk signifikan yang bisa memengaruhi kinerja atau keamanan.

C. Regangan (*Strain*)

Regangan adalah perubahan bentuk relatif material akibat tegangan, diukur sebagai rasio perubahan panjang terhadap panjang asli. Analisis regangan mengevaluasi apakah material tetap dalam regime elastis (*deformasi reversibel*) atau memasuki fase plastis, yang dapat menyebabkan kerusakan permanen, berdasarkan distribusi nilai regangan pada struktur.



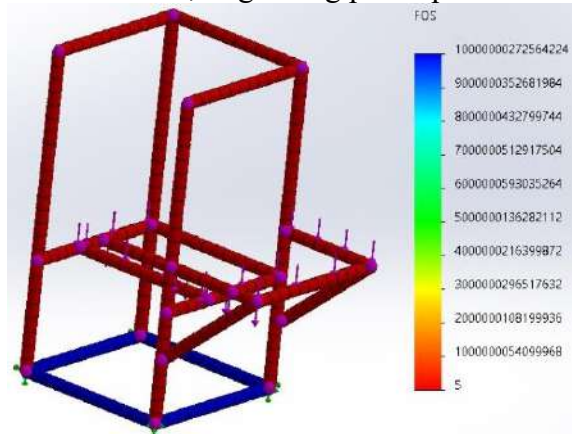
Gambar 4. 6 Regangan

Gambar 4.6 menyatakan analisis regangan (ESTRN, atau *equivalent strain*) menilai perubahan bentuk relatif material akibat tegangan. Skala warna menunjukkan nilai regangan yang sangat kecil, berkisar dari biru (negatif mendekati -0.00) hingga merah (positif mendekati 0.00), dengan distribusi hampir seragam di seluruh struktur. Regangan tertinggi (meskipun masih minimal) terjadi di area sambungan dan batang yang terkena beban, tetapi secara keseluruhan mendekati nol, menandakan bahwa material tidak mengalami peregangan atau pemampatan berlebih. Hal ini konsisten dengan tegangan rendah dari analisis sebelumnya, mengonfirmasi bahwa struktur berada dalam regime elastis (*deformasi reversibel*) dan tidak berisiko retak atau kegagalan fatik.

D. Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Faktor keamanan adalah rasio antara kekuatan material (*yield strength*) terhadap tegangan maksimum yang dialami struktur. Nilai ini

menunjukkan margin keamanan desain terhadap kegagalan, dengan angka yang lebih tinggi menandakan desain yang lebih aman. Standar industri biasanya menetapkan nilai minimal 1.5-4, tergantung pada aplikasi.



Gambar 4. 7 Faktor keamanan

Gambar 4.7 menyatakan analisis faktor keamanan (FOS) menghitung rasio antara kekuatan material (*yield strength*) dan tegangan aktual, untuk menentukan seberapa aman desain terhadap kegagalan. Skala warna dari merah (FOS minimum sekitar 5) hingga biru (FOS sangat tinggi, hingga 10.000.000.027.256.424), dengan nilai terendah di area kritis seperti sambungan atas. FOS minimum 5 berarti struktur setidaknya 5 kali lebih kuat daripada yang diperlukan untuk menahan beban, yang merupakan margin keamanan yang sangat baik (standar industri biasanya 1.5-4 untuk aplikasi statis). Area dengan FOS tinggi (biru) menunjukkan *overdesign*, sementara nilai rendah tetap aman, memvalidasi bahwa desain rangka alat pirolisis tahan lama dan dapat diandalkan untuk penggunaan jangka panjang.

4.5 Perhitungan Tekniks Perpindahan Panas

Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan kerugian panas dan suhu produk akhir dari uap produk pirolisis yang mengalir melalui pipa kondensor yang direndam dalam air diam. Perhitungan ini menggunakan metode perpindahan panas menyeluruh dan konsep

effectiveness untuk laju perpindahan panas pada pipa. Karena data spesifik laju alir, dan koefisien perpindahan panas belum tersedia, maka akan digunakan asumsi nilai yang relevan.

Parameter	Lambang	Nilai	Satuan
Suhu Produk Masuk	T_{in}	450	C
Suhu Air Pendingin	T_{∞}	30	C
Laju Alir Massa Produk (asumsi aliran gas)	$\dot{m}$	0.0005	kg/s
Kapasitas Panas Produk	$C_{p, \text{produk}}$	2000	J/kg · °C
Panjang Pipa (Kondensor)	L	1	m
Diameter Luar Pipa	D_o	0.0167	m
Diameter Dalam Pipa	D_i	0.0127	m
Koefisien Konveksi Dalam (asumsi aliran gas)	h_i	15	W/m ² · °C
Koefisien Konveksi Luar (asumsi air diam)	h_o	250	W/m ² · °C

a. Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Koefisien perpindahan panas menyeluruh berdasarkan luas permukaan luar dihitung dengan rumus resistansi termal.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{D_o \ln(D_o/D_i)}{2k_{\text{pipa}}} + \frac{1}{h_o}$$

Resistansi Konveksi Dalam

$$R_i = \frac{1}{15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \left(\frac{0.0167 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} \right) \approx 0.06667 \times 1.3157 \approx 0.0877 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Resistansi Konduksi Dinding Pipa

$$R_{\text{konduk}} = \frac{0.0167 \ln(0.0167/0.0127)}{2(45)} \approx \frac{0.0167 \times 0.2747}{90} \approx 0.000051 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Resistansi Konveksi Luar

$$R_3 = \frac{1}{h_o} = \frac{1}{250} = 0.004 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

$$\frac{1}{U_o} = R_{\text{total}} = 0.0877 + 0.000051 + 0.004 \approx$$

$$\frac{1}{U_o} = R_{\text{total}} = 0.0877 + 0.000051 + 0.004 \approx 0.09175 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$\approx 0.09175 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U_o = \frac{1}{0.09175} \approx 10.90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

b. Perhitungan Suhu Akhir
Luas Area Perpindahan Panas (A)

$$A = \pi(0.0167 \text{ m})(1.0 \text{ m}) \approx 0.0525 \text{ m}^2$$

Angka Pangkat Eksponensial

$$\text{Exponent} = \frac{U_o A}{\dot{m} C_p} = \frac{(10.90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(0.0525 \text{ m}^2)}{(0.0005 \text{ kg/s})(2000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} \approx$$

$$\approx \frac{0.5723}{1.0} \approx 0.5723$$

Hasil suhu akhir

$$\frac{T_{\text{out}} - T_{\infty}}{T_{\text{in}} - T_{\infty}} = e^{-\frac{U_o A}{\dot{m} C_p}}$$

$$\frac{T_{\text{out}} - 30}{450 - 30} = e^{-0.5723} \approx 0.5641$$

$$T_{\text{out}} - 30 = 0.5641 \times 420 \approx 236.92^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 30 + 236.92$$

$$T_{\text{out}} \approx 266.9^\circ\text{C}$$

c. Perhitungan Heat Loss (Q)

$$Q = (0.0005 \text{ kg/s})(2000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(450^\circ\text{C} - 266.9^\circ\text{C})$$

$$Q = (1.0 \text{ W} \cdot ^\circ\text{C})(183.1^\circ\text{C})$$

$$Q \approx 183.1 \text{ W}$$

Berdasarkan asumsi dan perhitungan perpindahan panas, pipa kondensor sepanjang 1 m mampu menghilangkan panas sebesar 183.1 Watt dan menurunkan suhu dari 450°C menjadi 266.9°C.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuannya melalui proses perancangan yang terstruktur dan menyeluruh, alat pirolisis dirancang dengan memanfaatkan prinsip dekomposisi termal tanpa oksigen pada suhu pembakaran 350–450°C, tidak ada satu temperatur baku di generalisasi untuk semua pirolisis plastik. namun berdasarkan literatur, kombinasi pirolisis 450° C kondensasi bertahap yang menurunkan uap sampai 30–60 °C sering digunakan untuk memperoleh “minyak pirolisis” yang mendekati karakteristik solar. bahan baku limbah plastik polyethylene (PE) dan polypropylene (PP), serta kapasitas 3 kg per proses yang sesuai untuk skala rumah tangga. Desain akhir mengintegrasikan komponen utama reaktor dari baja SS400, sistem kondensor berbahan tembaga, dan rangka yang dilengkapi roda untuk mobilitas, dengan dimensi keseluruhan yang kompak dengan tinggi 870 mm, lebar 550 mm, panjang 470 mm. Analisis kekuatan material menggunakan metode Finite Element Method (FEM) menunjukkan bahwa desain aman secara struktural, dengan tegangan maksimum 8.540.735 Pa (jauh di bawah yield strength baja SS400 282.685.049 Pa), perpindahan maksimum adalah 1 mm, regangan mendekati nol, dan faktor keamanan yang dihasilkan oleh analisis FEM adalah 5. struktur atau komponen yang di rancang dapat menahan beban hingga 5 kali lipat dari beban kerja yang sebenarnya dan telah melewati batas aman yang berkisar antara 1,5 hingga 3, yang menjamin ketahanan terhadap beban termal dan mekanis, Alat ini mengubah limbah plastik menghasilkan bahan bakar biosolar sebagai energi terbarukan, mudah dioperasikan oleh masyarakat Desa Sukamukti, sehingga berkontribusi pada pengelolaan sampah berkelanjutan dan peluang ekonomi lokal.

5.2 Saran

Kekurangan perancangan alat pirolisis ini antara lain kondensor yang masih sederhana tanpa sistem sirkulasi air pendingin aktif, selain itu kapasitas alat terbatas hanya 3 kg per proses sehingga kurang untuk pengolahan limbah dalam jumlah besar. Dengan mempertimbangkan dimensi kompak alat tinggi 870 mm, lebar 550 mm, panjang 470 mm yang mudah dioperasikan, saran selanjutnya adalah merancang varian reaktor yang lebih besar untuk menangani limbah plastik dalam jumlah lebih banyak, sambil mempertahankan ketahanan struktural.

Dalam proses fabrikasi disarankan menggunakan sambungan pipa yang lebih rapat dengan pengelasan atau ulir yang lebih presisi untuk mencegah kebocoran, dan menambahkan lapisan isolasi termal.

Pada saat proses pembakaran masih ada kebocoran di bagian tutup tabung reaktor sehingga di perlukan perubahan tutup tabung reaktor agar tidak terjadi kebocoran dan tidak ada oksigen yang masuk.

Penggantian pipa fleksibel dengan pipa tembaga agar proses pendinginan lebih sempurna.

Mengurangi lebar box kondensor sebesar 12 cm agar bebannya lebih seimbang.

DAFTAR PUSTAKA

- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2012). *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons.
- Ernawati, L., Ginting, R. R., & Zamzani, M. I. (2023). Edukasi Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Skala Rumah Tangga. *Jurnal Masyarakat Mandiri*, 7(5), 17444.
- Hartono, D. (2021). Analisis Keseimbangan Energi pada Reaktor Pirolisis Kapasitas 75kg/jam. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2014). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
- Iswadi, D. (2017). Pengolahan Sampah Plastik HDPE dan PET dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 45–52.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2022). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*.
- 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).
- Maulana, R., Amanulloh, R., Sugiantoro, B., & Sari, M. (2024). Pengaruh Jenis Plastik Terhadap Kualitas Minyak Pirolisis: Studi Konversi, Angka Cetane dan Angka Oktan Menggunakan Reaktor Pirolisis Tabung Mendatar Kapasitas 100 Kg Self-Sufficient. *Jurnal ITEKS*, 16(2).
- Mulyadi, H. (2020). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 45–52.
- Nurhadi. (2020). *Sistematika Perancangan*. Dalam BAB III Metodologi Desain. Universitas Pembangunan Jaya.
- Nurhidayanti, N., Anggunsari, P., & Sofianti, S. (2021). Studi Optimalisasi Suhu Pada Proses Pirolisis Sampah Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene). *Pelita Teknologi*, 16(1), 22–28.

- Planchard, M. (2024, 5 Februari). 3/4+ Million Certified SOLIDWORKS Users and Growing. SOLIDWORKS Education Blog.
- Pramaningtyas, M. D., Wantoputri, N. I., & Nurani, M. P. (2022). Peningkatan Pengetahuan tentang Pengelolaan Sampah dan Metode Pirolisis pada Masyarakat Kelurahan Srimulyo. *Jurnal Inovasi Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 2(1), 421.
- Putra, R., & Lestari, S.(2021). Proses Pirolisis untuk Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Penyaringan Adsorban Arang dan Zeolit.
- Rachmawati, Q., & Herumurti, W. (2015). Pengolahan Sampah Secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), A1-A5.
- Restanti, R. (2022). Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1), 6789.
- Santosa, B. (2020). Pilihan Bahan Reaktor Pirolisis: Wawasan tentang Q245R, Q345R, 304SS, dan 310SS.
- Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2001). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- Singh, R. (2018). "Pirolisis Biomassa: Tinjauan Proses dan Aplikasinya". *Jurnal Energi Terbarukan*, 5(1), 45–52.
- Soekwanto. (2016). Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer. *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*, 3(1), 17–26.
- Suryadi, M. D. (2009). *Factor of Safety* (Faktor Keamanan). *ELEMEN MESIN 1*, Universitas Negeri Yogyakarta, Pendidikan Teknik Mesin, 11.
- Sutrisno. (2019). Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 123-130.
- Syahputra, R. J. E., Utami, T., Nugrahaningtyas, K. D., Ridasepri, A. F., & Astuti, W. (2022). Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(3), 3067.
- Syamsudin, A. (n.d.). Pengertian SolidWorks. Dassault Systèmes. (1997). Dassault Systèmes signs definitive agreement to acquire SolidWorks.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). World leaders set sights on plastic pollution.
- Wibowo, A. (2019). Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Energi Aktivasi pada Tar. *Jurnal Seniati*, 5(2), 67-74.
- Wulandari, D., & Kurniawan, A. (2021). Perancangan dan Pembuatan Alat Pirolisis Skala Rumah Tangga Menggunakan LPG.
- Yudhanto, F., & Tim Peneliti. (2020). Analisis Karakteristik Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) sebagai Bahan Bakar Alternatif.
- Zaman, F. H., Miftahudin, & Maruf, A. (2022). Model Pemanfaatan Sampah Plastik dengan Teknologi Pirolisis Menjadi Bahan Bakar. *Karimah Tauhid*, 3(4), 13016.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2014). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.).