

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN MESIN PENGOLAH LIMBAH PLASTIK PP MENJADI LIMBAH CAIR DENGAN METODE PIROLISIS

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD DIYO BAKTI
2007230102



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Muhammad Diyo Bakti
NPM : 2007230102
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PP Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis
Bidang ilmu : Konversi Manufaktur

Telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan dinyatakan dapat dilanjutkan untuk mengikuti seminar proposal penelitian pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



(H. Muharnif, M. S.T., M.Sc.)

Dosen Penguji II



(Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T)

Dosen Penguji III



(Arya Rudi Nasution, S.T.,M.T.)

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



(Chandra A Siregar, S.T.,M.T)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama lengkap : Muhammad Diyo Bakti
NPM : 2007230102
Tempat / Tanggal lahir : Pulau Rakyat Pekan/01 Juni 2003
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“PEMBUATAN MESIN PENGOLAH LIMBAH SAMPAH PLASTIK PP MENJADI LIMBAH CAIR DENGAN METODE PIROLISIS”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 September 2024



Muhammad Diyo Bakti

Abstrak

Penelitian ini merupakan mesin pirolisis yang dikembangkan dan mampu beroperasi dengan parameter yang konsisten, dan dapat menghasilkan limbah cair yang dapat diolah lagi menjadi minyak pirolisis dari limbah plastik PP. Penelitian ini bertujuan untuk membuat, dan menguji mesin pirolisis yang mampu mengolah limbah plastik PP (Polypropylene) menjadi minyak pirolisis. Mesin ini dibuat berdasarkan desain yang telah dikembangkan sebelumnya dan kemudian dirakit serta diuji untuk mengetahui kinerjanya. Penelitian ini mencakup tiga tahap utama: pembuatan dan perakitan mesin, pengujian mesin dengan limbah plastik PP, serta evaluasi parameter pirolisis selama proses pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin pirolisis yang dibuat mampu mengolah limbah plastik PP dengan baik. Parameter proses seperti tekanan udara, suhu panas reaktor, dan suhu kondensor dipantau dan dicatat. Tekanan udara dalam reaktor stabil di sekitar 20 psi selama sebagian besar waktu pengujian, sementara suhu uap panas reaktor bervariasi antara 120°C hingga 200°C. Suhu kondensor berhasil menjaga suhu air pada tingkat yang memungkinkan kondensasi menjadi minyak cair yaitu pada suhu 10-20°C. Total minyak pirolisis yang dihasilkan selama pengujian adalah 794 ml, dengan hasil terbesar mencapai 100 ml dalam satu interval waktu. Penurunan tekanan pada akhir pengujian menandakan selesainya proses pirolisis dan habisnya limbah plastik yang diolah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mesin pirolisis yang dirancang dan dibuat berhasil memenuhi tujuan penelitian dengan kinerja yang baik dalam mengolah limbah plastik PP menjadi minyak pirolisis.

Kata Kunci: Pirolisis, Limbah Plastik PP, Mesin Pirolisis, Minyak Pirolisis, Parameter Pirolisis.

Abstract

This research is a pyrolysis machine that was developed and is capable of operating with consistent parameters, and can produce liquid waste which can be reprocessed into pyrolysis oil from PP plastic waste. This research aims to create and test a pyrolysis machine that is capable of processing PP (Polypropylene) plastic waste into pyrolysis oil. This machine is made based on a previously developed design and then assembled and tested to determine its performance. This research includes three main stages: manufacturing and assembling the machine, testing the machine with PP plastic waste, and evaluating pyrolysis parameters during the testing process. The test results show that the pyrolysis machine created is capable of processing PP plastic waste well. Process parameters such as air pressure, reactor heat temperature, and condenser temperature are monitored and recorded. The air pressure in the reactor remained stable at around 20 psi during most of the test, while the reactor steam temperature varied between 120°C and 200°C. The condenser temperature is successful in maintaining the water temperature at a level that allows condensation to become liquid oil, namely at a temperature of 10-20°C. The total pyrolysis oil produced during testing was 794 ml, with the largest yield reaching 100 ml in one time interval. The decrease in pressure at the end of the test indicates the completion of the pyrolysis process and the exhaustion of the processed plastic waste. The results of this research show that the pyrolysis machine designed and built successfully met the research objectives with good performance in processing PP plastic waste into pyrolysis oil.

Keywords: Pyrolysis, PP Plastic Waste, Pyrolysis Machine, Pyrolysis Oil, Pyrolysis Parameters.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PP Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T.,M.T. Dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam proses penelitian hingga penyelesaian laporan tugas akhir .
2. Bapak Chandra A Siregar ,S.T,M.T. dan Bapak Ahmad Marabdi ,S.T,M.T. ketua dan Sekertaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan banyak nasehat dan bimbingan dalam penyelesaian proposal penelitian penulis.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar ,S.T., M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah mendukung seluruh aktifitas akademik mahasiswa/I di Fakultas Teknik.
4. Bapak/Ibu seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis, Syahrin Lubis dan Mesiah, yang selalu memberikan doa serta dukungan yang tiada henti kepada penulis demi kesuksesan serta keberhasilan penulis dalam perkuliahan.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah membantu penulis dalam proses administrasi selama proses perkuliahan.
7. Kekasih penulis Lailatul Mardiah yang telah memberikan motivasi serta tantrum gak jelas kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan laporan ini.

8. Masrul Sukmawan, Syahrul Amani ,Ardansyah Ritonga, Muhammad Firish Nanda ,Rangga Fabregas dan Kawan-kawan kos gaya bebas seperjuangan penulis selama berkuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
9. Sahabat-sahabat penulis: Puja Deva Aditya, Rahmad Iqbal, Hardiansyah, dan teman-teman kelas B1 Pagi lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Laporan Tugas Akhir penelitian ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, September 2024

Muhammad Diyo Bakti

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	5
1.3. Ruang lingkup	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pirolisis	7
2.1.1. Pengertian Pirolisis	7
2.1.2. Produk Pirolisis	8
2.2. Komponen Utama	9
2.2.1. Reaktor	9
2.2.2. Tungku Pembakaran	9
2.2.3. Kondensor	9
2.3. Produk Pirolisis	10
2.4. Jenis – Jenis Pirolisis	11
2.5. Proses Pirolisis	14
2.6. Parameter Proses Pirolisis	16
2.7. Perancangan Pirolisis	18
2.8. Jenis jenis pengelasan	20
2.8.1 Pengertian pengelasan <i>TIG</i>	21
2.8.2 Prinsip Kerja Pengelasan <i>TIG</i>	21
2.8.3 Komponen Utama dalam Pengelasan <i>TIG</i>	22
2.8.4 Kelebihan Pengelasan <i>TIG</i>	23
2.8.5 Kekurangan Pengelasan <i>TIG</i>	24
2.9. Plastik	25
2.9.1. Jenis – Jenis Limbah Plastik	27
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	29
3.1.1 Tempat Penelitian	29
3.1.2 Waktu Penelitian	29
3.2 Bahan dan Alat	29
3.2.1 Bahan Penelitian	30

3.2.2	Alat Penelitian	32
3.3	Bagan Alir Penelitian	46
3.4	Rancangan Alat Penelitian	47
3.5	Prosedur Penelitian	48
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Pembuatan Komponen	50
4.1.1	Pembuatan Rangka	50
4.1.2	Perakitan Reaktor Pirolisis	54
4.1.3	Pembuatan Sistem Pendingin	57
4.2	Pembahasan Mesin Pirolisis	63
4.2.1	Spesifikasi Hasil Alat	63
4.2.2	Pengujian Alat	64
4.2.3	Parameter Mesin	66
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	70
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		
Lampiran 1. Hasil Penelitian		
Lampiran 2. Gambar Teknik		
Lampiran 3. Lembar Asistensi		
Lampiran 4. SK Pembimbing		
Lampiran 5. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian		
Lampiran 6. Daftar Riwayat Hidup		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data temperature transisi dan temperature lebur plastic (Untoro Budi, 2018)	19
Tabel 2.2 Jenis Jenis Plastik Daur Ulang (Suminto, 2017)	24
Tabel 3.1. Waktu kegiatan penelitian selama 9 bulan	25
Tabel 3.2 Rencana Produksi dan Pembelian Komponen	48
Table 4.1 Ukuran Pemotongan stenlless stell hollow	50
Tabel 4.2 Parameter mesin pirolisis	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Plastik	26
Gambar 3.1. Limbah Plastik PP	30
Gambar 3.2. Plat <i>Stainless</i>	30
Gambar 3.3 Pipa <i>Stainless</i>	31
Gambar 3.4 Pipa <i>Stainless</i>	31
Gambar 3.5 <i>Hollow Stainless</i>	31
Gambar 3.6 Pipa Tembaga	32
Gambar 3.7 Air Es	32
Gambar 3.8. Las Argon	32
Gambar 3.9. Bor tangan	33
Gambar 3.10. Kacamata las	33
Gambar 3.11 Mistra ukur	33
Gambar 3.12 Gelas ukur	34
Gambar 3.13 Penggaris siku magnet	34
Gambar 3.14 Gerinda	34
Gambar 3.15 Barometer	35
Gambar 3.16 Thermometer	35
Gambar 3.17 Kawat las argon	35
Gambar 3.18 Ball valve	36
Gambar 3.19 Pompa Air	36
Gambar 3.20 Adaptor	36
Gambar 3.21 Kompor	37
Gambar 3.22 Paking Gasket	37
Gambar 3.23 Pipe Cutter	37
Gambar 3.24 Cutting Wheel	38
Gambar 3.25 Fibre Disc	38
Gambar 3.26 Fibre Disc	38
Gambar 3.27 Savety Valve	39
Gambar 3.28 Drill Bit dan Hole Punch	39
Gambar 3.29 Tang	39
Gambar 3.30 Kepala Sambungan Ball Valve	40
Gambar 3.31 Kunci Pass dan kunci shock	40
Gambar 3.32 Baut, Ring, dan Mur	40
Gambar 3.33 Selang Air	41
Gambar 3.34 Lem epoxy	41
Gambar 3.35 Regulator Gas	41
Gambar 3.36 Sealtape	42
Gambar 3.37 Palu	42
Gambar 3.38 Klem Selang	42
Gambar 3.39 Flaring and Swaging Tool	43
Gambar 3.40 Cat air	43
Gambar 3.41 Stop Kontak	43
Gambar 3.42 Nepel chamber AC	44
Gambar 3.43 Thermometer digital	44
Gambar 3.44 Gunting	44
Gambar 3.45 box project dan pisau	45

Gambar 3.46 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.47 Rancangan Mesin Pengolahan Limbah Plastik Padat Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis	47
Gambar 4.1 Pemotongan Stenlless Stell Hollow	50
Gambar 4.2 Proses Pemotongan Sudut Stenlless Stell Hollow	51
Gambar 4.3 Proses Pengelasan Rangka	51
Gambar 4.4 Proses Pembuatan Alas Tungku	52
Gambar 4.5 Proses Pengelasan Alas Tungku	52
Gambar 4.6 Pengelasan Tungku Pembakaran	52
Gambar 4.7 Proses pembuatan Dudukan reaktor	53
Gambar 4.8 Pemotongan plat senlless stell	53
Gambar 4.9 Pengelasan dinding kompor	53
Gambar 4.10 Proses pengelasan tabung reaktor	54
Gambar 4.11 Proses Pengeboran	54
Gambar 4.12 Proses pengelasan derat	55
Gambar 4.13 Proses pengeboran tutup reaktor	55
Gambar 4.14 Proses pengeboran saluran penghubung	56
Gambar 4.15 Tabung raktor yang sudah selesai	56
Gambar 4.16 Proses pembuatan spiral	57
Gambar 4.17 Proses pembuatan tutup kondensor	57
Gambar 4.18 Proses pengeboran tabung kondensor dan penampung air	58
Gambar 4.19 Memasukkan spiral pada tabung kondensor	58
Gambar 4.20 Proses pengelasan tutup, pipa spiral, derat mur pada kondensor	59
Gambar 4.21 Proses pengelasan dudukan kondensor	59
Gambar 4.22 Pengelasan tabung penampung air	60
Gambar 4.23 Proses pengelasan nepel	60
Gambar 4.24 Pengeboran untuk sensor air	61
Gambar 4.25 Pengeleman expoxy	61
Gambar 4.26 Pipa penghubung	62
Gambar 4.27 Kotak Termometer suhu air	62
Gambar 4.28 Hasil Akhir	63
Gambar 4.29 Pemotongan plastic PP	64
Gambar 4.30 Proses pengencangan tutup reaktor	64
Gambar 4.31 Pemasangan Pipa penghubung	65
Gambar 4.32 Pembukaan regulator	65
Gambar 4.33 Memasukkan es batu pada tabung	65
Gambar 4.34 Suhu uap pada reaktor	66
Gambar 4.35 Tekanan udara pada reaktor	66
Gambar 4.36 Hasil Pirolisis	72

DAFTAR NOTASI

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan dunia tentang limbah sampah plastik adalah masalah yang sangat serius dan harus segera kita atasi bersama, karena dampak negatifnya kepada kesehatan manusia, lingkungan, dan ekosistem sangatlah buruk. Hal ini terjadi karena plastik yang sulit terurai oleh alam bertahun-tahun lamanya, menyebabkan kerusakan jangka panjang terhadap alam kita. Karena dampak negatifnya sangat besar membuat plastik menjadi simbol permasalahan ekologis dan memunculkan kesadaran akan pembuatan mesin pengolah limbah sampah plastik.

Indonesia saat ini menjadi penyumbang limbah sampah plastik yang mencapai laut dengan peringkat kedua terbesar di dunia setelah China. Menurut informasi dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, rata-rata warga Indonesia menghasilkan sampah sebanyak 0,8 kg per orang per hari, dengan 15% dari jumlah tersebut merupakan sampah plastik. Akumulasi limbah plastik mencapai 189 ribu ton setiap harinya. Oleh karena itu, penting untuk memproses sebagian besar limbah sampah yang dihasilkan, mengingat tingginya jumlah produksi limbah plastik, agar sisa limbah yang tidak dikelola dapat dihindari, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Maskun et al., 2022).

Plastik adalah suatu jenis polimer yang memiliki rantai panjang dari atom yang saling terikat. Rantai ini terdiri dari banyak unit molekul berulang yang disebut "*monomer*." Meskipun istilah plastik sering digunakan untuk merujuk pada produk polimerisasi sintetik, namun juga terdapat beberapa polimer alami yang termasuk dalam kategori plastik. Plastik dapat terbentuk melalui proses kondensasi organik atau polimerisasi penambahan, dan ada kemungkinan untuk membentuk plastik dengan menggunakan zat tambahan lainnya sehingga prosesnya menjadi lebih ekonomis (Gusniar, 2018).

Plastik memiliki kelebihan yaitu tahan lama, ringan, transparan, tahan air dan harganya terjangkau, itulah mengapa banyak orang yang menggunakan plastik sebagai bahan pengemas makanan dan minuman atau untuk keperluan

lainnya. Masifnya penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari tentunya akan berdampak pada lingkungan. Limbah sampah plastik jika tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Limbah sampah plastik memiliki dampak serius dan berbagai masalah yang berpotensi merugikan bagi lingkungan, kehidupan laut, manusia, dan ekosistem secara keseluruhan.

Pemakaian plastik, terutama jenis seperti *polipropilena* (PP), sebagai wadah untuk makanan dan minuman telah menjadi salah satu aspek penting dari kehidupan manusia modern. Dominasinya di pasar disebabkan oleh sejumlah keunggulan yang dimilikinya. Plastik PP dikenal karena ringannya, memudahkan penggunaan dan transportasi. Selain itu, harganya yang relatif murah menjadikannya pilihan ekonomis untuk berbagai aplikasi, termasuk kemasan makanan dan minuman. Kekuatan plastik PP memberikan ketahanan dan daya tahan terhadap tekanan dan benturan, sementara sifat antikorosinya membuatnya tahan terhadap kerusakan akibat korosi. Sifat tahan terhadap asam dan basa juga menjadi nilai tambah, memastikan keamanan penyimpanan berbagai jenis makanan dan minuman.

Daur ulang plastik dihadapkan pada tantangan yang sulit dan biaya yang tinggi karena adanya batasan dalam mengatasi kontaminasi air dan pemisahan padat dari plastik yang berbeda sebelum proses daur ulang. Pentingnya pemisahan berdasarkan jenis bahan plastik menjadi kritis karena berbagai jenis plastik terbuat dari senyawa resin yang berbeda, memiliki perbedaan dalam transparansi dan warna. Plastik yang diwarnai atau berpigmen seringkali memiliki nilai pasar yang lebih rendah, sementara plastik yang jelas transparan dapat lebih mudah diwarnai untuk diubah menjadi produk baru, menawarkan *fleksibilitas* yang lebih besar, dan menjadi pilihan utama produsen.

Oleh karena itu, pentingnya untuk menerapkan pengolahan limbah sampah plastik yang tepat, penggunaan teknologi pengolahan limbah plastik yang ramah lingkungan tanpa adanya polusi agar dapat mengatasi resiko dalam proses pembakaran tersebut. Dengan menggunakan metode pembakaran pirolisis maka limbah yang terbakar itu tidak akan mengeluarkan asap yang dapat membahayakan kesehatan manusia serta dapat mengurangi suhu panas pada atmosfer bumi.

Maksud dari limbah cair disini ialah limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran plastik pada suhu tinggi dan dikondensasikan menjadi sebuah cairan yang mengandung gumpalan plastik cair dan jenis bahan kimia serta minyak yang dapat diolah menjadi bahan bakar minyak. Produk utama dari *dekomposisi termal* plastik melalui pirolisis adalah minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar *konvensional*. Teknologi seperti ini sebenarnya telah banyak dikembangkan oleh beberapa Negara maju seperti Jepang, Uni Emirat Arab (UEA), Amerika Serikat, Korea Selatan, dan beberapa Negara di Eropa. Namun teknologi ini sedang dikembangkan terus menerus agar dapat mengkonversi limbah sampah plastik padat menjadi limbah cair dengan metode pirolisis agar dapat menjadi bahan bakar minyak.

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan pirolisis untuk mengubah limbah plastik PP menjadi minyak pirolisis yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau bahan kimia. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa perbedaan. Pertama, penelitian ini menggunakan bahan *stainless steel* untuk mengoptimalkan proses pembakaran pada suhu panas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan besi biasa sehingga proses pembakaran masih kurang efektif. Kedua, penelitian ini memilih sistem kondensor dengan menggunakan sistem air dingin yang bersirkulasi sehingga proses kondensasi akan lebih cepat terjadi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan air biasa dan tidak bersirkulasi sehingga proses pendinginan uap panas akan kurang efektif.

Banyak penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan besi biasa dalam pembuatan alat pirolisis. Bahan ini memiliki keterbatasan dalam hal ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi sehingga proses pirolisis menjadi kurang efektif dan alat cepat mengalami kerusakan. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan sistem kondensor dengan air biasa yang tidak bersirkulasi. Hal ini juga membuat proses pendinginann uap panas kurang efektif, sehingga mengurangi efisiensi konversi plastik menjadi minyak.

Penelitian ini menggunakan bahan *stainless steel* untuk mengoptimalkan proses pembakaran pada suhu tinggi. *Stainless steel* lebih tahan terhadap suhu tinggi dan korosi, sehingga meningkatkan efisiensi dan umur alat pirolisis.

Penelitian ini juga memilih sistem kondensor dengan air dingin yang bersirkulasi. Sistem ini memastikan proses kondensasi terjadi lebih cepat dan efektif dalam proses kondensasi dari uap panas yang didinginkan kemudian menjadi cairan.

Berdasarkan permasalahan ini perlu dilakukan rancang bangun suatu alat atau mesin untuk mengolah limbah plastik dengan baik serta memahami proses pengolahan limbah sampah plastik menggunakan alat destilasi sederhana dengan metode pirolisis. Sehubungan dengan uraian diatas, maka untuk mengembangkan alat pirolisis sebagai karya ilmiah yang dituangkan dalam bentuk skripsi dengan judul “Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PP Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah : bagaimana membuat dan merakit bahan, pengujian hasil pembuatan komponen alat pirolisis limbah plastik serta mengevaluasi parameter pirolisis dalam proses pengujian ?

1.3. Ruang Lingkup

Pembuatan Mesin sebagai alat untuk memproses limbah sampah plastik padat menjadi limbah cair dengan metode pirolisis:

1. Membuat dan merakit mesin berdasarkan desain yang telah dikembangkan..
2. Melakukan pengujian untuk mengevaluasi mesin pirolisis dalam mengolah limbah plastik PP.
3. Mengevaluasi parameter pirolisis dalam proses pengujian.

1.4. Tujuan

Berdasarkan latar belakang, maka penelitian ini bertujuan untuk pembuatan mesin pengolah limbah plastik padat menjadi limbah cair dengan metode pirolisis:

1. Pembuatan dan perakitan mesin sesuai dengan desain yang telah dikembangkan

2. Menguji mesin pirolisis melalui pengujian limbah plastik PP
3. Mengetahui parameter pirolisis dalam proses pengujian

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat penelitian ini untuk memasyarakatkan teknologi dengan metode pirolisis yang sederhana dan lebih baik dalam pengolahan limbah plastik dengan tidak menghasilkan polusi udara
2. Membina masyarakat agar dapat menguasai teknik pengelolaan, pengolahan, dan pemanfaatan limbah plastik dengan metode pirolisis
3. Terciptanya mesin pengolah limbah plastic padat menjadi limbah cair yang dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pirolisis

2.1.1 Pengertian pirolisis

Pirolisis atau *devolatilisasi* adalah proses *fraksinasi* material dengan menggunakan suhu tinggi. Proses pirolisis dimulai pada suhu sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal dan *zat volatil* pada limbah pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *poliaromatik hidrokarbon*. Hasil dari pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H_2 , CO, CO_2 , H_2O , dan CH_2), tar (minyak pirolitik), dan arang. Parameter yang memengaruhi kecepatan reaksi pirolisis memiliki hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan *empiris* yang berbeda. (Situmorang, 2022)

Pirolisis secara umum merujuk pada proses degradasi termal limbah tanpa kehadiran udara yang menghasilkan produk daur ulang, seperti arang, minyak/lilin, dan gas mudah terbakar. Sejak ribuan tahun yang lalu, pirolisis telah digunakan untuk menghasilkan arang dari *biomassa*. Dalam konteks pengelolaan limbah modern, pirolisis menjadi metode yang dapat Mengubah Sampah Kota (MSW) menjadi bahan bakar dan produk sekali pakai yang aman, termasuk arang dan logam. Proses pirolisis dapat diatur untuk mengoptimalkan produksi arang padat, gas, atau cair/minyak. Reaktor pirolisis berfungsi sebagai alat *transformasi* limbah, menjadikannya sumber energi yang efisien. Dibandingkan dengan pabrik *insinerasi konvensional* berkapasitas kiloton per hari, pabrik pirolisis memiliki keunggulan *fleksibilitas* yang lebih besar. Khususnya, pirolisis MSW semakin diperhatikan di kota-kota kecil untuk mengurangi transportasi limbah jarak jauh. Di kota-kota besar, di mana menemukan lokasi baru untuk *insinerator* dan tempat pembuangan limbah menjadi sulit, pirolisis menjadi alternatif penting. Fasilitas pengolahan limbah terdistribusi seringkali sulit memastikan keamanan lingkungan karena batasan biaya modal. Pabrik pirolisis dengan kapasitas yang sesuai dapat menjadi solusi yang tepat, terutama jika kualitas produk seperti arang,

minyak/lilin, dan gas mudah terbakar dapat dijaga dengan baik. Pendekatan ini memiliki potensi untuk menjadi solusi yang berkelanjutan dalam pengelolaan limbah, dengan meminimalkan dampak lingkungan sambil menghasilkan produk bernilai dari limbah.(Chen et al., 2014)

Pirolisis berasal dari bahasa Yunani, yaitu "*pyr*" yang berarti api, dan "*lysis*" yang berarti memisahkan. Proses pirolisis menghasilkan produk berupa padatan, minyak, dan gas. Padatan ini memiliki struktur mirip *grafit* dan terbentuk dari karbon murni pada suhu tinggi, struktur ini juga dapat ditemukan pada *membran fuel cell*. Minyak yang dihasilkan melalui pirolisis dapat dibandingkan dengan minyak tanah dan menjadi sumber bahan kimia berharga seperti alkohol, asam organik, eter, keton, alifatik, dan hidrokarbon aromatik. Sementara gas yang dihasilkan mencakup *CO_x*, *NO_x*, *H₂*, dan *alkana*.(WIBOWO, 2011)

Pirolisis dapat dibedakan menjadi tiga tipe : *flash pyrolysis* (pirolisis sangat cepat), *fast pyrolysis* (pirolisis cepat) dan *slow pyrolysis* (pirolisis lambat). berdasarkan temperatur, laju pemanasan dan waktu tinggal. Menurut Sharuddin (2018) Pirolisis adalah proses mendegradasi *molekul polimer* rantai panjang secara termal menjadi molekul yang lebih kecil dan lebih kompleks melalui panas. Proses ini membutuhkan panas yang intens dengan durasi yang lebih singkat dan tanpa oksigen. Tiga produk utama yang dihasilkan selama pirolisis adalah minyak, gas dan arang yang berharga bagi industri terutama produksi dan kilang. Tidak seperti daur ulang, penanganan proses juga jauh lebih mudah dan *fleksibel* dari pada metode daur ulang umum karena tidak memerlukan proses penyortiran yang *intens*.

2.2 Komponen Utama

2.2.1 Reaktor

Reaktor pirolisis plastik adalah perangkat yang dirancang untuk menguraikan senyawa kimia dalam plastik melalui pemanasan tanpa adanya oksigen atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Reaktor ini berperan sebagai komponen utama dalam proses pirolisis, di mana bahan baku plastik diubah menjadi limbah cair yang dapat dilolah menjadi minyak dan produk sampingan lainnya. Proses kerja reaktor pirolisis plastik dimulai dengan

memasukkan sampah plastik melalui tutup masuk ruang reaktor. Di dalam reaktor, sampah plastik dipanaskan pada suhu tinggi yang berkisar antara 160°C hingga 250°C. Suhu tinggi ini menyebabkan ikatan kimia dalam plastik terurai menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Karena proses ini berlangsung tanpa adanya oksigen, produk yang dihasilkan cenderung berupa cairan dan gas yang lebih bersih dibandingkan proses pembakaran yang menghasilkan banyak polutan.

Uap yang dihasilkan selama proses pirolisis diarahkan menuju sistem kondensasi untuk diubah menjadi minyak pirolisis, sementara cairan sisa pemanasan dikeluarkan melalui saluran khusus. Produk cairan yang dihasilkan ini bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau diolah lebih lanjut untuk keperluan lain. Proses ini membutuhkan pengaturan suhu yang sangat teliti agar hasil yang diperoleh dapat optimal, terutama dalam hal meningkatkan rendemen minyak dan mengurangi produksi gas yang tidak diinginkan.

Pengaturan waktu pirolisis, suhu, dan tekanan dalam reaktor menjadi faktor kunci yang mempengaruhi efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan. Jika suhu terlalu tinggi atau durasi pemanasan terlalu lama, reaksi yang terjadi dapat menghasilkan lebih banyak gas seperti CO_2 , CO , H_2 , dan CH_4 , yang sulit dikondensasi dan mengurangi jumlah minyak yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengaturan kondisi operasi yang optimal sangat penting dalam memaksimalkan hasil yang diperoleh dari proses pirolisis plastik. (Setiawan et al., 2020)

2.2.2 Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran pirolisis adalah perangkat kunci dalam proses pirolisis, yang dirancang untuk memanaskan bahan baku seperti plastik atau biomassa dalam kondisi kekurangan oksigen. Tujuan utama dari tungku ini adalah untuk menciptakan lingkungan yang ideal bagi dekomposisi termal bahan organik menjadi molekul-molekul yang lebih kecil tanpa adanya pembakaran penuh yang biasanya terjadi di hadapan oksigen.

Proses pirolisis yang terjadi di dalam tungku ini menghasilkan tiga produk utama: gas, minyak, dan arang. Gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar atau diolah lebih lanjut, minyak pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar cair atau bahan baku dalam industri kimia, dan arang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat atau sebagai *karbon* aktif. Dengan

pengaturan suhu yang tepat dan kontrol yang baik terhadap jumlah oksigen, tungku pembakaran pirolisis memungkinkan pengolahan limbah plastik atau biomassa menjadi produk yang berguna, mendukung upaya daur ulang dan pengurangan limbah. Proses ini tidak hanya membantu mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan, tetapi juga menghasilkan produk bernilai tambah yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

2.2.3 Kondensor

Kondensor dalam sistem pirolisis berfungsi sebagai alat untuk mendinginkan uap panas yang dihasilkan oleh reaktor pirolisis. Air digunakan sebagai media pendingin utama, yang diambil dari tangki air dan disirkulasikan melalui sistem dengan bantuan pompa. Pipa spiral dalam kondensor berperan penting dalam proses ini, karena pipa tersebut mengalirkan uap panas yang keluar dari reaktor pirolisis. Ketika uap melewati pipa spiral, air yang mengalir di sekitar pipa ini membantu menurunkan suhu uap, sehingga menyebabkan kondensasi dan menghasilkan cairan pirolisis. Pengaturan yang tepat dan efisien dari sistem kondensasi ini sangat penting untuk mengoptimalkan proses pirolisis, karena kondensasi yang efektif akan memastikan bahwa uap panas dari reaktor pirolisis diubah menjadi cairan dengan optimal, memaksimalkan hasil produk cair yang diinginkan (Nofendri & Haryanto, 2021).

2.3 Produk Pirolisis

a. Gas pirolisis

Gas pirolisis merupakan hasil dari proses pirolisis, suatu reaksi kimia di mana bahan organik dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen atau dengan oksigen yang terbatas. Proses dimulai dengan pemanasan bahan organik seperti biomassa atau limbah organik dalam reaktor pirolisis khusus. Pada suhu tinggi, molekul-molekul bahan organik mengalami degradasi termal, memecah ikatan kimia dan menghasilkan fragmen-fragmen yang lebih sederhana.

Molekul-molekul tersebut kemudian mengalami pemecahan lebih lanjut menjadi gas-gas, termasuk hidrogen, metana, dan karbon monoksida. Penting untuk menciptakan suasana tanpa oksigen atau dengan oksigen terbatas untuk menghindari pembakaran lengkap. Setelah proses selesai, gas

pirolisis dapat dipisahkan dari produk samping lainnya seperti biochar atau bio-olie.

Gas pirolisis yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk berbagai tujuan, seperti pembangkit listrik, pemanasan, atau sebagai bahan baku dalam industri kimia. Proses pirolisis dapat diatur untuk mengoptimalkan hasil gas tertentu, sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan jenis bahan organik yang digunakan.

b. Bio-oli

Bio-oil, adalah cairan kompleks yang dihasilkan dari proses pirolisis, suatu proses dekomposisi termal bahan organik seperti biomassa, baik tanpa oksigen maupun dengan oksigen yang sangat terbatas. Pada tahap awal, bahan organik dalam reaktor pirolisis dipanaskan pada suhu tinggi. Ini menyebabkan molekul terbelah dan ikatan kimia dipecahkan dari molekul tersebut. Setelah didegradasi, potongan-potongan yang tersisa berkondensasi dan membentuk *Bio-Oil*.

Bio-Oil terdiri dari berbagai senyawa organik seperti asam asetat, fenol, keton, dan aldehida. *Bio-Oil* dapat dipisahkan dari gas pirolisis dan biochar setelah proses pirolisis. Sifat-sifatnya, seperti viskositas dan komposisi kimia, dapat berubah tergantung pada jenis bahan organik dan parameter pirolisis yang digunakan. Namun, *Bio-Oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar cair atau sebagai bahan baku dalam industri kimia. Untuk meningkatkan kualitas dan keberlanjutan *Bio-Oil*, teknologi pirolisis terus dikembangkan.

c. Biochar

Biochar adalah produk padatan yang dihasilkan dari proses pirolisis, suatu reaksi kimia di mana bahan organik seperti biomassa atau limbah pertanian dipanaskan hingga suhu tinggi tanpa oksigen sama sekali atau dengan oksigen yang sangat sedikit. Pada langkah pertama, dekomposisi molekuler terjadi, yang memecah ikatan kimia dalam bahan organik menjadi fragmen sederhana. Gas pirolisis dan bio-oil juga dapat terbentuk sebagai produk samping dari proses ini. *Biochar* adalah produk padatan

yang tersisa setelah proses pirolisis. Ini adalah karbon stabil dengan struktur serbuk arang.

Biochar dapat digunakan sebagai pembenah tanah untuk meningkatkan struktur dan retensi air tanah setelah dipisahkan dari produk lain. *Biochar* juga memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon, yang membantu dalam mengatasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca ke *atmosfer*. Sifat *biochar* bervariasi tergantung pada jenis bahan organik yang digunakan dan parameter pirolisisnya, dan penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan keberlanjutan dan kualitasnya.

2.4 Jenis-Jenis Pirolisis

Ada beberapa jenis utama dari reaksi pirolisis, yang dibedakan oleh suhu dan pengolahan atau waktu tinggal biomassa

a. *Low-Temperature Pyrolysis*

Pirolisis lambat, atau pirolisis konvensional, merupakan teknik pirolisis yang pertama kali digunakan pada awal tahun 1900-an. Pada saat itu, kayu dipirolisis selama 24 jam di industri untuk menghasilkan metanol, etanol, asam asetat, dan batu bara. Teknik ini melibatkan penggunaan sistem *kontinu* yang dikenal sebagai sistem "arang". Dalam sistem ini, bahan organik dipanaskan secara perlahan dalam lingkungan *anaerobik* pada suhu di atas 400°C, dengan laju pemanasan minimum berkisar antara 5 hingga 7°C/menit, dan laju pemanasan maksimum berkisar antara 20 hingga 100°C/menit. Temperatur maksimum yang diterapkan berkisar antara 400 hingga 650°C, dan waktu tinggal bisa mencapai 5 hingga 30 menit hingga beberapa hari. Selama periode ini, senyawa organik yang mudah menguap mengalami perengkahan dan penggabungan ulang untuk menghasilkan arang dan cairan *fraksional* lainnya. (Al-Rumaihi et al., 2022)

Gas pirolisis merupakan hasil dari proses pirolisis, suatu reaksi kimia di mana bahan organik dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen atau dengan oksigen yang terbatas. Proses dimulai dengan pemanasan bahan organik seperti *biomassa* atau limbah organik dalam reaktor pirolisis khusus. Pada suhu tinggi, molekul-molekul bahan organik mengalami

degradasi termal, memecah ikatan kimia dan menghasilkan *fragmen-fragmen* yang lebih sederhana.

Molekul-molekul tersebut kemudian mengalami pemecahan lebih lanjut menjadi gas-gas, termasuk *hidrogen*, *metana*, dan *karbon monoksida*. Penting untuk menciptakan suasana tanpa oksigen atau dengan oksigen terbatas untuk menghindari pembakaran lengkap. Setelah proses selesai, gas pirolisis dapat dipisahkan dari produk samping lainnya seperti *biochar* atau *bio-oli*.

b. Pirolisis Menengah (Intermediate-Temperature Pyrolysis)

Pirolisis cepat adalah teknik pirolisis yang difokuskan pada maksimalkan produksi minyak cair berkualitas tinggi. Minyak ini merupakan bahan bakar energi padat yang dapat diubah menjadi *hidrokarbon* dalam bensin dan solar. Selama pirolisis cepat, bahan organik mengalami pengolahan termal tanpa kehadiran oksigen pada suhu sekitar 600–650°C, dengan laju pemanasan yang tinggi hingga mencapai 1000°C/detik. Proses ini menyebabkan dekomposisi cepat bahan organik, menghasilkan sebagian besar uap dan aerosol, bersama dengan sejumlah kecil gas dan arang. (Al-Rumaihi et al., 2022)

Pirolisis menengah, yang terjadi pada suhu antara 600 dan 800 °C, menunjukkan tahap pirolisis rendah dan tinggi, yang menyebabkan pemecahan rantai *polimer* dan reaksi kimia yang lebih *kompleks*. Dalam proses ini, bahan organik dipecahkan menjadi produk seperti *biochar*, cairan pirolisis (juga dikenal sebagai *bio-oil*), dan gas pirolisis. Suhu menengah memungkinkan reaksi kimia yang lebih lanjut untuk memecah molekul besar menjadi bentuk yang lebih kecil. Hasil padat *biochar* dapat meningkatkan kualitas tanah dan retensi air di pertanian. *Bio-oil*, juga dikenal sebagai cairan pirolisis, memiliki tingkat kompleksitas kimia yang lebih tinggi, yang membuatnya kandidat bahan baku untuk industri kimia atau sebagai sumber energi alternatif.

Meskipun pirolisis menengah menghadapi kesulitan terkait kompleksitas proses, gas pirolisis yang dihasilkan, seperti hidrogen, metana, dan karbon *monoksida*, memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan

bakar atau untuk keperluan industri. Keuntungan dari pirolisis menentang terletak pada keseimbangan relatif antara produk *biochar*, minyak, dan gas pirolisis.

c. *Fast pyrolysis*

Fast pyrolysis (pirolisis kilat) terkenal karena kecepatan ekstrim dalam prosesnya. Meskipun kecepatan menjadi aspek kunci dari teknik ini, banyak faktor yang bergantung pada perpindahan panas dan massa melintasi bahan baku. Proses pirolisis kilat menghasilkan terutama uap dan *aerosol*, ditambah dengan sejumlah kecil arang. Pelaksanaan pirolisis kilat dilakukan pada suhu mendekati 1000°C, dengan laju pemanasan melebihi 700°C/detik, dan waktu retensi yang sangat singkat (<0,5 detik) [44]. Oleh karena itu, proses ini dioptimalkan dengan sangat cermat untuk menghasilkan minyak berkualitas tinggi. Beberapa faktor khusus yang memengaruhi hasil termasuk kebutuhan bahan baku pada suhu optimal untuk mendukung reaksi, penggunaan partikel berukuran kecil dalam reaktor unggul terfluidisasi untuk mengurangi pembentukan kokas, dan memastikan perpindahan panas yang lebih cepat ke permukaan partikel, seperti yang terjadi selama ablasi. Pirolisis kilat dapat menghasilkan hingga 75% minyak pirolisis berdasarkan berat produk. (Al-Rumaihi et al., 2022)

Pirolisis tinggi, yang terjadi pada suhu di atas 800°C, adalah tahap pirolisis yang menunjukkan reaksi kimia yang lebih kompleks daripada pemecahan rantai polimer. Molekul organik dipecahkan secara intensif pada suhu tinggi ini, menghasilkan gas pirolisis sebagai produk utama, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metana. Proses ini biasanya berfokus pada pemisahan molekul organik menjadi bagian yang lebih kecil, yang menghasilkan senyawa yang lebih kompleks dan reaktif. *Biochar*, produk padat, masih dapat menghasilkan residu padatan, tetapi tingkatnya mungkin lebih kecil daripada pirolisis pada suhu lebih rendah. Penggunaan pirolisis tinggi biasanya terkait dengan gasifikasi, di mana gas pirolisis menjadi fokus utama. Ini karena gas pirolisis dapat memiliki nilai energi tinggi dan sering digunakan sebagai bahan bakar atau dalam industri seperti pembuatan baja. Namun, ada beberapa masalah dengan pirolisis tinggi, seperti

kompleksitas reaksi kimia, pengaturan suhu yang ketat, dan mungkin rendemen yang lebih rendah dari produk padat seperti biochar.

2.5 Proses Pirolisis

Proses pirolisis, atau perengkahan termal, melibatkan *degradasi termal* molekul polimer rantai panjang menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan kurang kompleks. Proses ini terjadi dalam kondisi tanpa oksigen, dengan peningkatan tekanan dan suhu yang terjadi dalam waktu singkat. Sejak diusulkan oleh banyak peneliti, pirolisis telah diakui karena kemampuannya menghasilkan minyak cair dalam jumlah besar, mencapai hingga 80% berat pada suhu sekitar 500°C. Keunikan dari proses ini adalah parameter prosesnya dapat diubah untuk menghasilkan produk sesuai dengan *preferensi* pribadi, sehingga pirolisis sering disebut sebagai proses yang fleksibel. Minyak cair yang dihasilkan melalui pirolisis memiliki kualitas tinggi dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi tanpa memerlukan peningkatan atau perawatan tambahan. Selain itu, bahan bakar gas yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari proses pirolisis dapat digunakan kembali untuk memenuhi kebutuhan energi pabrik pirolisis. (Vijayakumar & Sebastian, 2018)

Pirolisis merupakan salah satu proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan suatu bahan bakar minyak dari material berbahan dasar plastik (*polymer*). Berkaitan dengan hal tersebut, maka penelitian mengenai metoda pirolisis ini sangat menarik untuk dilakukan guna mengetahui sejauh manakah metoda ini dapat membantu masyarakat dalam mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah plastik yang selama ini dianggap tidak memiliki nilai ekonomis, serta dapat menjadikannya sebagai referensi untuk menghasilkan sumber energi alternatif ditengah semakin krisisnya sumber daya minyak fosil. *Pyrolysis* merupakan suatu metoda dekomposisi bahan kimia organik maupun non-organik melalui proses pemanasan dengan tanpa atau sedikit oksigen atau *zat reagen* lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi *fase gas*. Pirolisis dilakukan dengan kasus hanya menyisakan senyawa karbon sebagai residu disebut *Karbonisasi*. Metoda pirolisis sendiri dapat

diterapkan dalam penggunaan untuk menghasilkan suatu senyawa yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar berupa cairan.(Nofendri & Haryanto, 2021)

Proses pengolahan ulang dan pemanasan tambahan pada bahan plastik dapat menyebabkan kerusakan molekuler, seperti pemotongan rantai, pembentukan ikatan silang, atau pembentukan ikatan rangkap. Dampak dari kerusakan ini dapat mengurangi kualitas hasil akhir yang dihasilkan, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Qinglan. Melalui analisis proksimat dari bahan plastik, kita dapat memahami hubungan antara sifat dan jenis bahan baku plastik dengan proses pirolisis dan produk yang dihasilkannya. Proses pirolisis memanfaatkan atmosfer inert yang bebas oksigen, sehingga tidak membentuk dioksin melalui reaksi produk dengan oksigen. Hal ini juga mengurangi jejak karbon dari proses dan produk dengan mengurangi emisi karbon monoksida (CO) dan CO₂. (Al-Salem dkk, 2017).

2.6 Parameter Proses Pirolisis

Optimasi parameter proses pirolisis sangat penting untuk memaksimalkan hasil minyak yang dihasilkan dari limbah plastik campuran. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, suhu dan waktu tinggal merupakan dua faktor paling signifikan yang mempengaruhi yield minyak pirolisis. Penelitian ini menemukan bahwa suhu optimal untuk pirolisis plastik campuran berada di kisaran 450-500 °C, dengan waktu tinggal sekitar 1-2 jam. Pada kondisi optimal tersebut, yield minyak pirolisis dapat mencapai 75% dari berat awal bahan. Selain itu, penggunaan katalis juga ditemukan dapat meningkatkan yield dan kualitas produk cair yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang parameter proses sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pirolisis, khususnya dalam pengolahan limbah plastik menjadi minyak yang bernilai tinggi (Faisal et al., 2024)

Semua unsur penyusun ini, dalam berbagai tingkatan, dapat dipengaruhi oleh panas, meskipun pada rentang suhu yang berbeda. Oleh karena itu, mereka mengalami transformasi melalui reaksi yang spesifik. Kondisi operasi torefaksi (pengolahan *termal biomassa*) dan sifat *biomassa* itu sendiri memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah *residu* padat yang tersisa dan produk yang mudah

menguap, serta yang berbentuk gas yang dihasilkan. Sebagai hasilnya, dalam penelitian yang berbeda, analisis menghasilkan hasil yang tidak identik. Ini menunjukkan bahwa distribusi produk dapat bervariasi secara signifikan, bergantung pada jenis *biomassa* yang digunakan.(Cahyono, 2013)

a. Suhu Pirolisis

Dalam proses pirolisis, suhu memiliki dampak yang signifikan terhadap komposisi produk yang dihasilkan. Pada umumnya, peningkatan suhu pirolisis dapat meningkatkan tingkat dekomposisi bahan organik. Suhu yang sangat tinggi dapat mengakibatkan dominasi pembentukan gas dan cairan, menyebabkan proporsi arang menjadi relatif lebih rendah. Oleh karena itu, penyesuaian suhu pirolisis harus dilakukan dengan cermat, mempertimbangkan kondisi optimal agar produk arang yang diinginkan dapat tercapai. Faktor lain seperti waktu pirolisis, tekanan, jenis bahan baku, dan jenis proses pirolisis juga memiliki peran penting dalam membentuk hasil akhir dari proses tersebut.(Ristianingsih et al., 2015)

b. Waktu Pirolisis

Waktu pirolisis memegang peranan penting dalam menentukan rendemen produk dalam proses ini. Suhu yang tinggi dan waktu yang berlangsung lama dapat mengakibatkan pemecahan ikatan polimer menjadi semakin kuat, menghasilkan lebih banyak gas yang sulit terkondensasi seperti CO_2 , CO , H_2 , dan CH_4 , serta dapat menurunkan rendemen produk cair. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rendemen asap cair mencapai puncaknya pada suhu 150–200°C dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu. Meskipun pada penelitian ini ditemukan bahwa rendemen asap cair cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu pirolisis, perlu diperhatikan bahwa pada suhu pirolisis 250°C terjadi penurunan rendemen akibat kehilangan bobot yang semakin besar akibat suhu tinggi dan waktu yang panjang. Oleh karena itu, pengaturan waktu pirolisis harus dilakukan dengan cermat guna mencapai kondisi optimal yang menghasilkan rendemen produk sesuai dengan yang diinginkan (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017).

c. Tekanan

Kenaikan temperatur dan tekanan terbukti memiliki dampak signifikan terhadap jumlah *yield* asap cair yang dihasilkan dalam proses pirolisis. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Rahman et al. (2016), ditemukan bahwa pada rentang suhu 300 hingga 450°C, serta dengan variasi tekanan vakum sebesar 20, 35, 50, dan 65 kPa, terdapat peningkatan yang konsisten dalam nilai *yield* asap cair. Ini menunjukkan bahwa baik peningkatan suhu maupun variasi tekanan vakum dapat mempengaruhi secara substansial hasil akhir dari proses pirolisis, khususnya dalam produksi asap cair. Penemuan ini penting karena menunjukkan bahwa pengaturan yang tepat terhadap temperatur dan tekanan dapat dioptimalkan untuk memaksimalkan hasil produk dalam aplikasi praktis. (Rahman et al., 2016)

d. Ukuran Partikel

Ukuran partikel memberikan pengaruh pada luas permukaan kontak perpindahan panas antara material dan sumber panas selama proses dekomposisi termal. Semakin kecil ukuran partikel, permukaan perpindahan panas semakin luas dan akan meningkatkan laju perpindahan panas ke permukaan material. Konsekuensinya akan meningkatkan laju dekomposisi pada material dan meningkatkan efisiensi pirolisis (Ohliger, 2012)

e. Kelembapan Bahan Baku

Kadar air merupakan faktor kunci yang memengaruhi kualitas produk dalam proses pirolisis. Jika kadar air terlalu tinggi, hal ini dapat merugikan kualitas asap cair yang dihasilkan. Kadar air yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan kadar produk. Semakin tinggi kadar air dalam bahan baku, maka kualitas asap cair yang dihasilkan cenderung menurun. Oleh karena itu, pengendalian dan pemantauan kadar air dalam bahan baku sangat penting untuk memastikan hasil pirolisis yang optimal dan berkualitas. (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017)

f. Kecepatan Pemanasan

Menurut Demirbas (2004) peningkatan suhu secara signifikan akan mempercepat pengurangan kadar air pada bahan. Kecepatan pemanasan

memegang peran penting dalam menentukan hasil akhir dari proses pirolisis karena memengaruhi sifat dan komposisi produk akhir. Laju pemanasan yang rendah cenderung mengurangi reaksi pirolisis, menghambat pemecahan termal biomassa, dan lebih banyak menghasilkan arang daripada *bio-oil*. Sebaliknya, kecepatan pemanasan yang tinggi akan mempercepat proses dekomposisi senyawa biomassa, mengakibatkan produksi lebih banyak *bio-oil* dan gas. Menurut Zhang et al. (2017), proses pirolisis *Microcystis* dengan rentang suhu 300°C hingga 700°C menunjukkan bahwa jumlah maksimum *bio-oil* dihasilkan pada suhu 500°C, mencapai sekitar 59%. Dalam konteks ini, laju pemanasan yang tinggi dalam pirolisis sekunder membantu dalam pembentukan komponen gas. (Novita et al., 2021).

Pengetahuan tentang sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat thermal yang penting meliputi titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g), dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah saat plastik berubah dari kaku menjadi fleksibel. Di atas titik lebur, plastik melunak dan menjadi cair, meningkatkan kelenturannya. Temperatur dekomposisi adalah batas pencairan, di mana suhu yang lebih tinggi dari titik lebur menyebabkan dekomposisi plastik karena energi thermal melebihi energi ikatan molekul. Polimer umumnya terdekomposisi pada suhu lebih dari 1,5 kali temperatur transisinya (Untoro Budi, 2018)

Tabel 2.1 Data temperature transisi dan temperature lebur plastic (Untoro Budi, 2018)

Jenis Bahan	T_m (°C)	T_g (°C)	Temperatur kerja maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

2.7. Perancangan Pirolisis

Perencanaan bangunan dalam pembuatan mesin pengolah limbah plastik padat menjadi limbah cair dengan metode pirolisis adalah proses perancangan dan konstruksi struktur fisik yang optimal untuk menampung serta mendukung operasional mesin tersebut. Seperti halnya perancangan mesin, perencanaan bangunan ini melibatkan studi yang cermat dan pemikiran mendalam guna memastikan efisiensi total, kepatuhan terhadap standar keamanan, dan pengoptimalan penggunaan sumber daya finansial, manusia, serta bahan yang diperlukan. Rancangan bangunan harus menciptakan lingkungan kerja yang aman, efisien, dan sesuai dengan tujuan penelitian agar mesin pirolisis dapat beroperasi dengan baik dan mencapai hasil yang diinginkan.

2.7.1 Reaktor

Reaktor digunakan sebagai tempat terjadinya pembakaran pirolisis. Reaktor terdiri dari sebuah tabung, tutup tabung, barometer, *thermocople*, dan pipa output. Tabung raktor berfungsi sebagai ruangan penutup yang memungkinkan tidak terjadinya pertukaran udara di dalam tabung reaktor selama terjadinya proses pembakaran berlangsung. *Barometer* berfungsi untuk mengetahui berapa tekanan udara yang terjadi di dalam tabung reaktor. *Thermocople* berfungsi untuk memberitahukan berapa suhu yang sudah tercapai pada tabung reaktor. Sedangkan pipa *output* berfungsi sebagai saluran keluar uap dari hasil pirolisis yang akan menuju tabung kondensor.

Reaktor pirolisis untuk pengolahan sampah plastik umumnya memiliki beberapa komponen utama dengan desain yang spesidik untuk memaksimalkan efisiensi dan keselamatan proses pirolisi. Reaktor biasanya berbentuk tabung atau silinder untuk memastikan distribusi panas yang merata. Tabung ini terbuat dari material tahan panas seperti stainless steel dengan penutup kedap udara untuk mencegah masuknya udara selama proses pirolisis.

Pada tabung reaktor ini terdapat juga sistem control untuk mengetahui suhu dan tekanan yang telah tercapai oleh tabung reaktor. Sistem control ini menggunakan thermometer suhu panas dan barometer untuk mengetahui suhu dalam reaktor agar sesuai dengan kebutuhan proses pirolisis dan untuk memastikan tekanan udara pada tabung reaktor tidak berlebihan sehingga tidak terjadinya kelebihan tekanan, dan pada tabung reaktor juga tersedia *savty valve* berfungsi

bila mana terjadi tekanan yang berlebih maka otomatis *safety valve* akan mengeluarkan tekanan yang berlebih itu.

2.7.2 Kondensor

Kondensor digunakan sebagai tempat terjadinya proses pendinginan. Tabung kondensor terdiri dari sebuah tabung, pipa air input, pipa air output, dan pipa spiral. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan uap hasil dari pemanasan pada tabung reaktor, dimana uap panas akan di dinginkan menjadi cairan. Pipa input berfungsi sebagai saluran masuk air dingin untuk mempercepat proses pendinginan pada kondensor. Pipa output berfungsi untuk melepaskan air yang mulai memanaskan agar suhu pada kondensor lebih dingin. Pipa spiral pada tengah-tengah tabung kondensor berfungsi untuk Pipa spiral pada tabung kondensor pirolisis berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pendinginan dan mempercepat kondensasi uap pirolisis, memastikan hasil proses yang lebih efektif. Desain ini memberikan luas permukaan tambahan untuk pertukaran panas, mendukung optimalisasi ruang pada perangkat pengolahan limbah plastik.

Pada kondensor ini memiliki 3 titik tempat pengukuran suhu air dingin yang berada pada kondensor yaitu berada pada atas, bawah, dan posisi tengah guna memastikan suhu air yang berada pada kondensor tetap terjaga (terpantau). Pada bawah tabung pipa kondensor terdapat sebuah *ball valve* yang berfungsi untuk membuka dan menutup aliran uap (minyak yang sudah dihasilkan) atau bisa dikatakan sebagai tempat sementara minyak.

2.8 Jenis jenis pengelasan busur listrik (Arc Welding)

Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih bahan, biasanya logam atau termoplastik, melalui pemanasan, tekanan, atau keduanya, untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan permanen. Menurut Kim, Son, Rhee (2003) jenis jenis pengelasan busur listrik terbagi sebagai berikut :

1. *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* atau Las Listrik Manual: Menggunakan elektroda yang terbungkus fluks yang menciptakan pelindung gas saat terbakar untuk melindungi las dari kontaminasi.
2. *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* atau *MIG (Metal Inert Gas) Welding*: Menggunakan gas pelindung (seperti *argon* atau *helium*) untuk melindungi

area las dari *kontaminasi atmosfer*. Cocok untuk pengelasan baja, *stainless steel*, dan *aluminium*.

3. *GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)* atau *TIG (Tungsten Inert Gas) Welding*: Menggunakan elektroda tungsten yang tidak habis terbakar dan gas pelindung. Ideal untuk pekerjaan yang membutuhkan pengelasan yang presisi, seperti pengelasan *aluminium* dan *stainless steel*.
4. *FCAW (Flux-Cored Arc Welding)*: Mirip dengan *MIG*, tetapi menggunakan kawat berongga yang terisi fluks untuk membentuk pelindung gas. Dapat digunakan dengan atau tanpa gas pelindung tambahan.
5. *SAW (Submerged Arc Welding)*: Menggunakan *fluks granular* yang menutupi busur dan logam pengisi, sehingga menghasilkan sambungan yang sangat kuat dengan penetrasi yang dalam.

2.8.1 Pengertian Pengelasan TIG

Pengelasan *TIG (Tungsten Inert Gas)*, juga dikenal sebagai *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*, adalah salah satu metode pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak habis terbakar untuk menghasilkan panas dan melelehkan logam dasar. Proses ini dilindungi oleh gas inert (seperti argon atau helium) untuk mencegah kontaminasi udara terhadap logam cair selama pengelasan. Las *TIG (Tungsten Inert Gas)* menggunakan busur dengan pelindung gas mulia (gas argon) untuk menyambung logam. (Fran Nur Felani, Kosjoko, 2017)

2.8.2 Prinsip Kerja Pengelasan TIG

Pengelasan *TIG (Tungsten Inert Gas)*, atau dikenal juga sebagai *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*, adalah metode pengelasan yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak meleleh sebagai sumber panas utama untuk melelehkan logam dasar yang akan disambung. Prinsip utama dari pengelasan *TIG* adalah penggunaan busur listrik yang dihasilkan antara elektroda tungsten dan benda kerja yang akan dilas. (Wijayanto, 2017).

Pada saat pengelasan *TIG*, busur listrik yang terjadi antara *elektroda tungsten* dan logam dasar menghasilkan panas tinggi yang cukup untuk melelehkan logam dasar. Gas pelindung mengalir keluar dari ujung obor

pengelasan, menciptakan lapisan pelindung yang mencegah oksidasi dan kontaminasi logam cair oleh gas-gas di udara seperti oksigen dan nitrogen. Tidak adanya percikan dan penggunaan elektroda yang tidak habis pembakaran memungkinkan pengelasan yang bersih dan rapi, dengan kontrol yang lebih baik terhadap proses pengelasan, terutama pada logam tipis dan logam yang sulit dilas seperti *aluminium* dan *stainless steel* (Suryanto & Putra, 2019).

Elektroda tungsten yang digunakan dalam proses ini tidak ikut meleleh, namun menghasilkan panas yang cukup tinggi untuk mencairkan logam dasar. Selain itu, pengelasan *TIG* juga memungkinkan penggunaan bahan pengisi (filler metal) jika diperlukan, terutama ketika menyambung logam dengan ketebalan yang lebih besar. Proses ini memberikan momen lebih dalam pengelasan berbagai jenis logam, baik yang memiliki sifat konduktif tinggi maupun yang membutuhkan kendali panas yang akurat (Rahman & Nugroho, 2020).

2.8.3 Komponen Utama dalam Pengelasan TIG

Pengelasan *TIG* (*Tungsten Inert Gas*) terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk memastikan proses pengelasan berjalan dengan efisien dan menghasilkan kualitas sambungan yang optimal. Berikut adalah komponen-komponen utama dalam pengelasan *TIG*:

1. *Elektroda tungsten* digunakan sebagai elektroda yang tidak habis terbakar dalam proses pengelasan *TIG*. *Elektroda* ini terbuat dari tungsten murni atau campuran tungsten dengan bahan lain seperti *thorium* atau *zirkonium*, yang berfungsi untuk menghasilkan busur listrik dengan suhu yang sangat tinggi. Karena tungsten memiliki titik leleh yang sangat tinggi, *elektroda* ini tidak akan meleleh selama proses pengelasan dan tetap stabil di bawah suhu tinggi (Wijayanto, 2017).
2. Gas pelindung, seperti *argon* atau *helium*, digunakan untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi udara, seperti oksigen dan nitrogen, yang dapat menyebabkan oksidasi pada logam cair. Argon umumnya digunakan untuk kebanyakan aplikasi pengelasan karena memiliki sifat yang lebih stabil dan memberikan perlindungan optimal terhadap busur listrik dan area pengelasan (Suryanto & Putra, 2019).

3. Obor pengelasan merupakan alat yang memegang *elektroda tungsten* dan mengarahkan gas pelindung ke area pengelasan. Obor pengelasan *TIG* biasanya dilengkapi dengan saluran pendingin untuk mencegah panas berlebih yang dihasilkan selama pengelasan. Obor ini dirancang agar ergonomis untuk digunakan oleh operator, memungkinkan pengendalian yang presisi posisi terhadap dan gerakan *elektroda* (Rahman & Nugroho, 2020).
4. Sumber daya listrik menyediakan arus listrik yang diperlukan untuk menghasilkan busur listrik antara elektroda tungsten dan benda kerja. Pengelasan *TIG* dapat menggunakan arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC), tergantung pada jenis logam yang akan dilas. Untuk logam seperti aluminium dan magnesium, AC lebih umum digunakan karena membantu menghilangkan lapisan oksida pada permukaan logam (Yusuf & Hartono, 2018).
5. Pada pengelasan *TIG*, terutama untuk arus tinggi atau pengelasan yang membutuhkan waktu lama, sistem pendingin digunakan untuk mendinginkan obor pengelasan. Sistem pendingin ini biasanya menggunakan udara atau cairan pendingin lainnya untuk menjaga suhu obor tetap rendah, yang pada akhirnya meningkatkan umur alat dan kenyamanan operator (Setiawan & Kurniawan, 2021).
6. Kabel dan selang gas yang menghubungkan obor pengelasan dengan sumber daya listrik dan tabung pelindung gas. Komponen ini harus dirawat dengan baik agar tidak terjadi kebocoran gas atau gangguan pada suplai arus listrik selama proses pengelasan (Nugroho & Darmawan, 2022).

2.8.4 Kelebihan Pengelasan *TIG*

Pengelasan *TIG* (*Tungsten Inert Gas*) memiliki beberapa kelebihan yang menjadikannya pilihan utama dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan kualitas dan presisi tinggi. Berikut adalah beberapa kelebihan pengelasan *TIG*:

1. Pengelasan *TIG* menghasilkan sambungan las yang bersih, bebas dari percikan, dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Hal ini dikarenakan proses pengelasan *TIG* menggunakan gas pelindung *inert* (seperti argon

atau helium) yang mencegah oksidasi logam las dan mengurangi kemungkinan terjadinya porositas pada sambungan (Siregar, 2019). Gas pelindung ini melindungi area las dari kontaminasi, sehingga menghasilkan lasan yang lebih cepat dan kuat.

2. Pengelasan *TIG* memberikan kontrol yang lebih baik terhadap busur las dan penambahan bahan pengisi, sehingga memungkinkan untuk mengelas bahan dengan ketebalan yang bervariasi, mulai dari yang sangat tipis hingga yang lebih tebal. Operator dapat dengan mudah mengontrol panas yang dihasilkan dan kecepatan penambahan bahan pengisi, yang menghasilkan sambungan las dengan kualitas tinggi dan presisi yang lebih baik (Prasetyo & Kurniawan, 2020).
3. Pengelasan *TIG* dapat digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam, termasuk *aluminium*, *magnesium*, baja tahan karat, dan material *non-ferrous* lainnya. Hal ini menjadikan *TIG* sebagai metode pengelasan yang sangat *fleksibel* untuk berbagai aplikasi di industri otomotif, pesawat terbang, *konstruksi*, dan *manufaktur*, di mana berbagai jenis material sering digunakan (Susanto, 2021).
4. Pengelasan *TIG* dapat dilakukan dalam semua posisi, termasuk posisi horizontal, vertikal, dan overhead, sehingga cocok untuk aplikasi pada lokasi yang sulit dijangkau atau di area yang memerlukan pengelasan dalam posisi khusus. Kemampuan ini meningkatkan efisiensi pekerjaan di lokasi konstruksi atau pada bagian-bagian struktur yang kompleks (Ramdani & Firdaus, 2018).
5. Pengelasan *TIG* menghasilkan panas yang lebih terkendali, yang mengurangi distorsi pada material yang dilas. Hal ini sangat penting dalam aplikasi yang memerlukan toleransi yang ketat dan sedikit dikurangi, seperti pada industri dirgantara dan medis (Yulianto & Setyawan, 2022).

2.8.5 Kekurangan Pengelasan *TIG*

1. Pengelasan *TIG* adalah kecepatannya yang relatif lambat dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, seperti *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Hal ini disebabkan oleh kontrol manual yang diperlukan untuk memanipulasi *elektroda tungsten* dan menambahkan bahan pengisi,

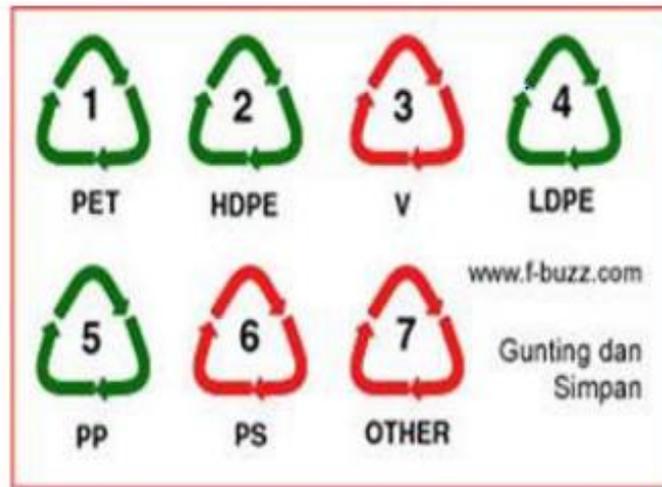
sehingga prosesnya membutuhkan lebih banyak waktu untuk menyelesaikan pengelasan (Santoso & Rahman, 2018). Oleh karena itu, *TIG* sering kali tidak cocok untuk proyek yang memerlukan volume pengelasan yang tinggi atau kecepatan produksi yang cepat.

2. Pengelasan *TIG* memerlukan keterampilan operator yang sangat tinggi karena membutuhkan koordinasi tangan-mata yang baik, pengaturan arus yang tepat, dan penanganan elektroda tungsten dengan hati-hati. Operator harus mampu mengontrol dengan baik parameter las, seperti kecepatan, sudut elektroda, dan jarak antara elektroda dan bahan kerja, untuk menghasilkan sambungan las yang baik (Wijayanto, 2020).
3. Pengelasan *TIG* umumnya memiliki biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain karena penggunaan gas pelindung argon atau helium yang lebih mahal, serta kebutuhan peralatan yang lebih kompleks dan canggih. Selain itu, biaya perawatan peralatan seperti obor, selang gas, dan elektroda tungsten juga lebih tinggi (Nugraha, 2019).
4. Pengelasan *TIG* kurang efektif untuk mengelas material dengan ketebalan yang sangat besar. Proses *TIG* tidak menghasilkan panas kerja metode pengelasan lainnya, seperti pengelasan busur terendam (*Submerged Arc Welding - SAW*), sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menembus material yang tebal (Andrianto & Firmansyah, 2021).
5. Pengelasan *TIG* memancarkan sinar *ultraviolet (UV)* dan *inframerah (IR)* yang *intens*, yang dapat membahayakan mata dan kulit jika tidak menggunakan alat pelindung diri yang tepat. Selain itu, risiko paparan asap las juga meningkat jika proses dilakukan dalam ruang tertutup tanpa ventilasi yang memadai (Lestari & Supriyanto, 2022).

2.9 Plastik

Plastik dapat dijelaskan sebagai polimer yang membentuk rantai panjang atom yang saling terikat. Rantai ini terdiri dari banyak unit molekul berulang, atau monomer. Jenis plastik umumnya terdiri dari polimer karbon saja, atau bersama dengan unsur oksigen, nitrogen, dan klorin. Plastik telah menjadi bagian integral dalam kehidupan abad ke-21. Ketika dipanaskan pada suhu beberapa ratus derajat

Celsius, plastik dapat terurai. Beberapa jenis plastik yang umum digunakan melibatkan polimer seperti *polypropylene (PP)*, *polyvinyl chloride (PVC)*, *high density polyethylene (HDPE)*, *linear low density polyethylene (LLDPE)*, *low density polyethylene (LDPE)*, *polyester thermoplastik (PETE)*, *polystyrene (PS)*, dan *phenolic*. Sebagai contoh, *polypropylene* memiliki rumus molekul $(C_3H_6)_n$.(Mokhtar et al., 2018)



Gambar 2.1 Jenis Plastik (Armenise et al., 2021)

Plastik adalah bahan yang ekonomis, *fleksibel*, dan mudah dibentuk. Sejak dekade 1940-an, masyarakat di seluruh dunia telah mengadopsi "budaya plastik". Meskipun plastik telah meningkatkan kualitas hidup banyak orang dan mengubah pola konsumsi global, dampaknya juga mencakup peningkatan permintaan akan sumber daya dan produksi, serta penciptaan limbah dan polusi yang signifikan. Plastik meresap dalam berbagai aspek kehidupan kita, mulai dari kemasan makanan, penggunaan di industri ruang angkasa, hingga peralatan medis. Konsumsi plastik telah meningkat drastis sejak tahun 1950-an, diperkirakan mencapai 720 juta ton dalam dua dekade ke depan. Untuk mengatasi tantangan ini, pada tahun 2018, Komisi Eropa merumuskan Strategi UE untuk Plastik dalam Ekonomi Sirkular, yang mengidentifikasi tujuan utama terkait pengelolaan plastik.(Armenise et al., 2021)

Plastik memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan bahan lain, termasuk kekuatan, ringan, *fleksibilitas*, ketahanan terhadap karat, kecenderungan untuk tidak mudah pecah, kemudahan dalam pemberian warna, kemudahan dalam pembentukan, serta sifat isolator panas dan listrik yang baik. Meskipun demikian,

setelah menjadi limbah, plastik dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena ketidak mampuannya untuk terurai dengan cepat, yang dapat menurunkan kesuburan tanah. Limbah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan, dan sungai, menyebabkan potensi banjir. Pembakaran limbah plastik dapat menghasilkan zat-zat berbahaya yang berpotensi merugikan kesehatan manusia.(Rakhmah et al., 2023)

2.9.1 Jenis-Jenis Limbah Plastik

Plastik telah menjadi bahan yang sangat umum dan esensial dalam kehidupan modern, digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari pembungkus makanan hingga komponen otomotif. Dalam industri otomotif, plastik sering dipilih karena sifatnya yang ringan dan fleksibel, menawarkan alternatif yang lebih murah dan mudah dibentuk dibandingkan logam seperti besi. Namun, meskipun plastik memiliki banyak kegunaan, tantangan terbesar adalah pengelolaan limbahnya. Plastik sangat sulit terurai secara alami, memerlukan waktu yang sangat lama untuk terdegradasi, yang mengakibatkan akumulasi limbah plastik di lingkungan. Masalah ini menjadi perhatian besar karena berdampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.

Bahan plastik yang cukup populer adalah *Polyvinylidene Chloride* (Plastik Saran). Polimer ini dapat dibentuk ke dalam bentuk film dan lembaran panjang. Plastik saran sangat populer digunakan untuk pembungkus makanan. Sementara itu, *polytetrafluoroethylene (PTFE-Teflon)* memiliki sifat yang stabil, tahan panas, kuat, dan tahan terhadap berbagai bahan kimia. Permukaannya juga sangat licin, hampir tidak mengalami gesekan(Vijayakumar & Sebastian, 2018).

Tabel 2.2 Jenis Jenis Plastik Daur Ulang (Suminto, 2017)

Simbol daur ulang	Jenis Plastik	Sifat-Sifat	Aplikasi kemasan
	<i>PET</i> (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Transparan, ringan, tahan terhadap serangan bakteri, dan kuat.	Botol minuman, botol saus, dan wadah makanan.
	<i>HDPE</i> (<i>High-Density Polyethylene</i>)	Kuat, tahan air, tahan kimia, dan tahan terhadap impak.	Botol susu, botol deterjen, botol sampo, dan wadah makanan.
	<i>PVC</i> (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Tahan terhadap api, tahan cuaca, dan tahan terhadap bahan kimia.	Pipa, kemasan kabel, dan beberapa kemasan makanan.
	<i>LDPE</i> (<i>Low-Density Polyethylene</i>)	Fleksibel, transparan, dan tahan terhadap air.	Kemasan film, kantong belanja, dan botol squeeze.
	<i>PP</i> (<i>Polypropylene</i>)	Tahan panas, kuat, dan tahan terhadap lemak	Wadah makanan, tutup botol, dan wadah kemasan makanan
	<i>PS</i> (<i>Polystyrene</i>)	Ringan, tahan panas, dan dapat diwarnai.	Gelas styrofoam, wadah makanan sekali pakai, dan penyekat kemasan.
	<i>Other</i>	Beragam, tergantung pada jenis plastik yang termasuk dalam kategori "Other"	Campuran plastik yang tidak termasuk dalam kategori utama, dapat mencakup produk-produk khusus dengan formula atau karakteristik unik.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat dan waktu pelaksanaan pembuatan penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 10 bulan. Beberapa aspek telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Waktu kegiatan penelitian selama 10 bulan

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1.	Pengajuan Judul	■													
2.	Studi Literatur		■												
3.	Bimbingan Laporan			■											
4.	Perbaikan Laporan				■										
5.	Penyelesaian Laporan					■									
6.	Seminar Proposal						■								
7.	Pembuatan alat							■							
8.	Pengujian alat								■						
9.	Bimbingan laporan									■					
10.	Penyelesaian laporan										■				
11.	Seminar Hasil											■			
12.	Perbaikan Laporan												■		
13.	Sidang Skripsi													■	

3.2 Bahan dan Alat

Penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan limbah plastik, khususnya jenis Polypropylene (PP), dengan tujuan mengonversinya menjadi bahan bakar. Limbah plastik, yang umumnya digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seringkali menjadi sumber polusi lingkungan ketika dibuang secara tidak terkelola. Dalam konteks ini, penelitian memilih limbah plastik PP, yang biasanya digunakan dalam botol minuman, kemasan makanan, atau berbagai produk konsumen lainnya,

menjadi fokus karena kandungan karbon dan hidrogen yang dapat diubah menjadi bahan bakar melalui proses pirolisis.

Penelitian bertujuan untuk menjalankan proses konversi tersebut, di mana plastik PP dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen, sehingga menghasilkan gas, cairan, dan padatan yang memiliki potensi sebagai bahan bakar. Dengan pendekatan ini, penelitian berpotensi memberikan solusi terhadap permasalahan limbah plastik sambil mendaur ulangnya menjadi sumber energi yang bermanfaat. Dengan penekanan pada plastik PP, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang potensi dan tantangan dalam mengubah jenis plastik ini menjadi sumber energi alternatif yang berkelanjutan.



Gambar 3.1. Limbah Plastik PP

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Plat *stainless*

Digunakan untuk membentuk bagian-bagian pada mesin pirolisis seperti ; tutup tabung reaktor, kondensor, tabung tampungan air dingin, sebagaiudukan reaktor dan pembuatan alas untkn tungku pemanasan.



Gambar 3.2. Plat *Stainless*

2. Pipa *Stainless*

Digunakan untuk membuat tabung kondensor dan tabung pendinginan dan dapat beroperasi pada suhu tinggi dan rendah tanpa mengalami degradasi.



Gambar 3.3 Pipa *Stainless*

3. Pipa

Digunakan untuk membuat tabung reaktor agar dapat beroperasi pada suhu tinggi tanpa mengalami degradasi.



Gambar 3.4 Pipa *Stainless*

4. *Hollow Stainless*

Digunakan untuk pembuatan rangka pada mesin pirolisis dan berfungsi untuk menopang seluruh berat komponen dan bahan baku, bahan ini dipilih karena tahan terhadap kondisi operasi yang ekstrem.



Gambar 3.5 *Hollow Stainless*

5. Pipa Tembaga

Digunakan untuk saluran penghubung dari reaktor menuju ke kondensor. Pipa tembaga ini juga digunakan untuk melakukan pembuatan spiral yang berfungsi untuk proses pendinginan uap panas menjadi cairan.



Gambar 3.6 Pipa Tembaga

6. Air Es

Digunakan pada siklus air untuk mendinginkan suhu panas pada pipa spiral dan menjaga agar suhu kondensor tetap dingin sehingga proses kondensasi cepat terjadi.



Gambar 3.7 Air Es

3.2.2 Alat Penelitian

1. Las argon

Las argon digunakan untuk menyambung komponen antar logam yang akan digunakan pada saat pembuatan rangka, kondensor, serta reaktor.



Gambar 3.8. Las Argon

2. Bor tangan

Bor tangan digunakan untuk melubangi tabung pada tabung reaktor dan kondensor untuk sambungan aliran pipa serta untuk tempat *barometer*, *thermometer*, dan *safety valve*.



Gambar 3.9. Bor tangan

3. Kacamata las

Digunakan untuk perlindungan mata pada saat proses pengelasan atau sebagai *safety first*



Gambar 3.10. Kacamata las

4. Mistar ukur

Digunakan untuk mengukur bahan-bahan yang akan diperlukan dengan ketentuan ukuran yang sudah direncanakan.



Gambar 3.11 Mistra ukur

5. Gelas ukur

Digunakan untuk mengukur cairan yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin pirolisi.



Gambar 3.12 Gelas ukur

6. Penggaris siku magnet

Digunakan untuk menyatukan dua benda logam agar bahan yang akan dilas membentuk sudut 90° sempurna dengan cara menahan dan menariknya menggunakan sifat magnetiknya.



Gambar 3.13 Penggaris siku magnet

7. Gerinda

Digunakan untuk membentuk benda kerja seperti merapikan hasil pemotongan, merapikan hasil las, membentuk lengkungan pada benda kerja yang bersudut, menyiapkan permukaan benda kerja untuk dilas, dan lain-lain



Gambar 3.14 Gerinda

8. *Barometer*

Digunkana untuk memberitahukan tekanan udara yang terjadi didalam tabung reaktor sehingga pada saat tabung reaktor mencapai tekanan tertentu dapat melakukan tindakan selanjutnya.



Gambar 3.15 *Barometer*

9. *Thermometer*

Digunakan untuk memberitahukan atau menampilkan kondisi suhu yang telah dicapai dalam tabung reaktor.



Gambar 3.16 *Thermometer*

10. Kawat las argon

Digunakan sebagai bahan pengisi dalam proses pengelasan menggunakan las argon.



Gambar 3.17 Kawat las argon

11. Ball valve

Digunakan untuk penutup atau pembuka pada ujung pipa kondensor yang berisikan cairan/berupa uap dan berfungsi untuk mengurangi tekanan pada tabung reaktor.



Gambar 3.18 Ball valve

12. Pompa Air

Digunakan untuk mengalirkan air dari ember menuju kondensor sehingga terjadinya siklus air



Gambar 3.19 Pompa Air

13. Adaptor

Digunakan untuk mengubah tegangan listrik tipe arus bolak balik dengan nilai yang tinggi menjadi tegangan listrik tipe arus searah dengan nilai yang rendah agar dapat menggerakkan pompa air.



Gambar 3.20 Adaptor

14. Kompor

Digunakan untuk mengatur keluarnya gas dan berfungsi untuk memanaskan tabung reaktor pada saat proses pembakaran limbah plastik padat menjadi uap.



Gambar 3.21 Kompor

15. Paking Gasket

Digunakan untuk pelapis antara tabung reaktor dengan tutup reaktor agar meminimalisir terjadinya kebocoran uap atau tekanan pada tabung reaktor.



Gambar 3.22 Paking Gasket

16. Pipe Cutter

Digunakan untuk memotong pipa tembaga dengan presisi dan efisiensi sesuai dengan ukuran yang ditentukan.



Gambar 3.23 Pipe Cutter

17. *Cutting Wheel*

Digunakan sebagai mata potong gerinda yang dirancang khusus untuk memotong material seperti logam.



Gambar 3.24 *Cutting Wheel*

18. *Fibre Disc* (amplas gerinda datar)

Digunakan untuk mengikis, meratakan atau menghaluskan bagian material yang tidak sesuai



Gambar 3.25 *Fibre Disc*

19. *Flap Disc* (amplas gerinda susun)

Digunakan untuk mengikis, meratakan atau menghaluskan bagian material yang tidak sesuai.



Gambar 3.26 *Fibre Disc*

20. *Safety Valve*

Digunakan untuk mengeluarkan fluida atau gas dari sistem jika tekanan melebihi batas aman, sehingga mencegah terjadinya tekanan berlebih yang dapat merusak peralatan atau sistem.



Gambar 3.27 *Safety Valve*

21. *Drill Bit* (Mata bor) dan *Hole Punch* (mata ketok)

Mata ketok digunakan untuk menandai titik pada reaktor, kondensor, dan tabung air. Mata bor digunakan untuk membuat lubang atau melubangi pada titik yang sudah ditandai tadi.



Gambar 3.28 *Drill Bit* dan *Hole Punch*

22. Tang

Digunakan untuk memegang atau menjepit, membentuk, menarik atau mencabut, menekan, dan membengkokkan bahan material.



Gambar 3.29 Tang

23. Kepala sambungan *ball valve*

Digunakan sebagai kepala atau rumah an agar selang dapat terkait (tersambung) pada tabung kondensor dan tempat kluar masuknya air dari tempat penampungan air dingin



Gambar3.30 Kepala Sambungan *Ball Valve*

24. Kunci Pass dan kunci *shock*

Digunakan untuk mengecangkan semua baut dan mur agar rapat sehingga tidak terjadinya kebocoran atau pun kegagalan sistem. Kunci yang digunakan adalah kunci pas 11 dan 17, serta kunci *shock* 12



Gambar 3.31 Kunci Pass dan kunci *shock*

25. Baut, Ring, dan Mur

Digunakan untuk mengecangkan atau mengikat sambungan-sambungan pada mesin agar tidak terjadinya pergeseran maupun kebocoran.



Gambar 3.32 Baut, Ring, dan Mur

26. Selang Air

Digunakan untuk aliran air atau penghubung dari tempat penampungan air ke kondensor agar air dingin dapat bersirkulasi dengan terus menerus.



Gambar 3.33 Selang Air

27. Lem epoxy

Digunakan untuk menutup celah dan merekatkan sensor *termometer digital* agar tidak terjadi kebocoran pada tabung kondensor.



Gambar 3.34 Lem epoxy

28. Regulator Gas

Digunakan untuk mengatur atau mengontrol keluarnya gas dari dalam tabung menuju tungku pembakaran dengan ketentuang yang sudah ditetapkan.



Gambar 3.35 Regulator Gas

29. *Sealtape*

Digunakan untuk mencegah terjadinya kebocoran melalui sambungan yang berderat agar sambungan ikatan semakin rapat.



Gambar 3.36 *Sealtape*

30. Palu

Digunakan untuk meratakan plat yang sedikit tidak sesuai dan untuk memukul mata ketok agar dapat terjadinya sebuah tekan dan penanda pada material.



Gambar 3.37 Palu

31. Klem Selang

Digunakan untuk perekat pada selang sirkulasi air yang terhubung dari tabung penampung air dingin ke mesin pompa air menuju kondensor dan sebaliknya, serta untuk perekat selang dengan regulator gas ke pipa tungku pembakarannya.



Gambar 3.38 Klem Selang

32. Flaring and Swaging Tool

Digunakan untuk memperlebar atau memperbesar ujung pipa tembaga agar bisa disambungkan dengan pipa ukuran yang sama, tanpa menggunakan pengelasan.



Gambar 3.39 Flaring and Swaging Tool

33. Cat Air

Digunakan menandai panjang pendeknya sebuah bahan yang sudah diukur untuk proses pemotongan.



Gambar 3.40 Cat air

34. Stop kontak

Digunakan untuk menghubungkan peralatan listrik ke sumber listrik contohnya untuk menghidupkan pompa air agar kondensor memiliki sirkulasi air



Gambar 3.41 Stop Kontak

35. *Nepel chamber AC*

Digunakan untuk menghubungkan pipa kuningan dari reaktor ke kondensor tanpa melakukan proses pengelasan sehingga sambungan pipa ini dapat di bongkar pasang.



Gambar 3.42 *Nepel chamber AC*

36. *Thermometer digital*

Thermometer digital digunakan untuk mengukur suhu air pada tabung kondensor bagian atas dan bagian bawah. *Thermometer digital* dapat memberikan ukuran suhu yang lebih akurat dibandingkan thermometer analog.



Gambar 3.43 *Thermometer digital*

37. *Gunting*

Digunakan untuk memotong limbah plastik PP menjadi beberapa bagian.



Gambar 3.44 *Gunting*

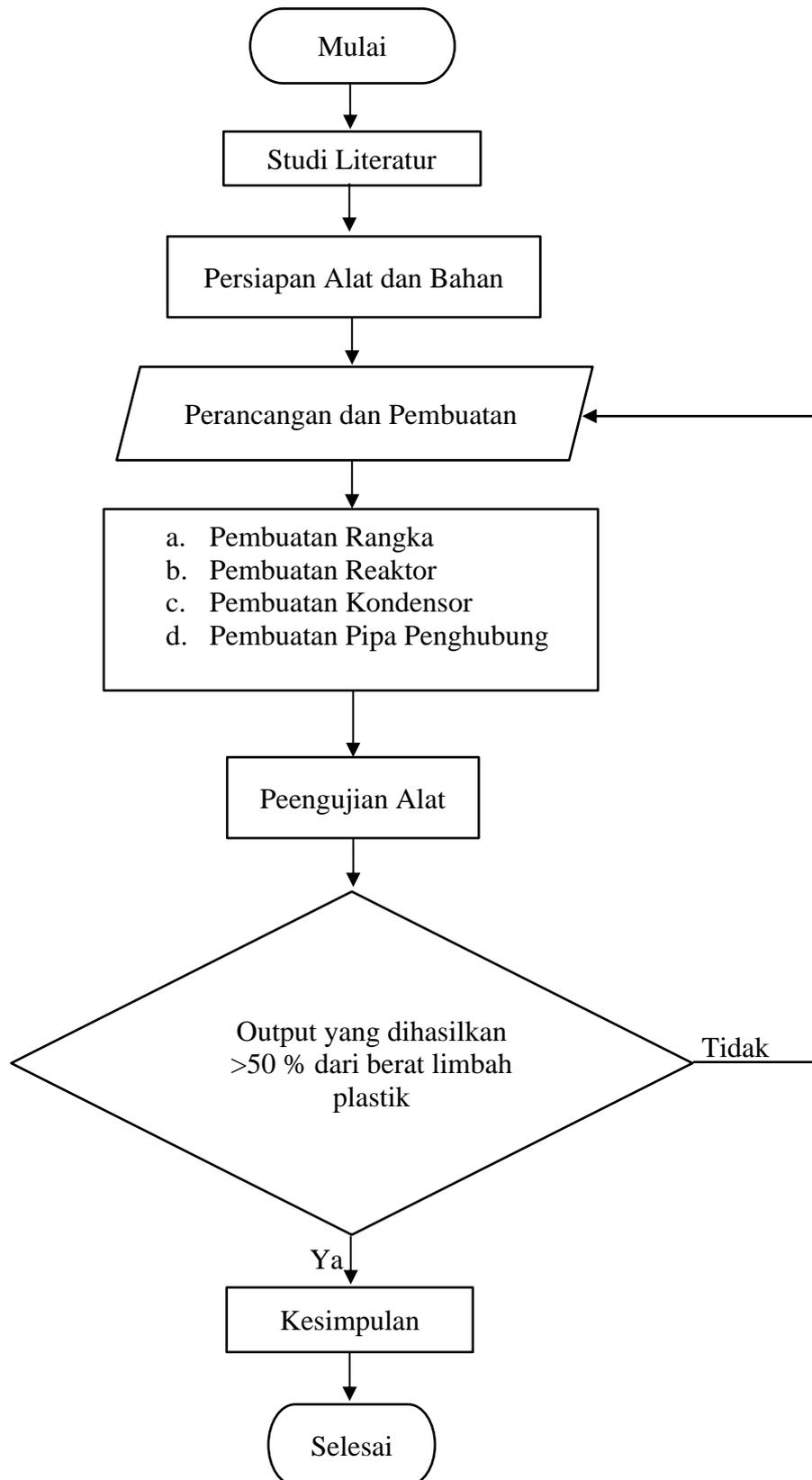
38. *Box project* dan pisau

Box project digunakan untuk tempat thermometer digital agar mudah untuk melihat suhu pada proses pengujian berlangsung. Pisau digunakan untuk membuat lubang pada *box project*.



Gambar 3.45 *box project* dan pisau

3.3 Bagan Alir Penelitian

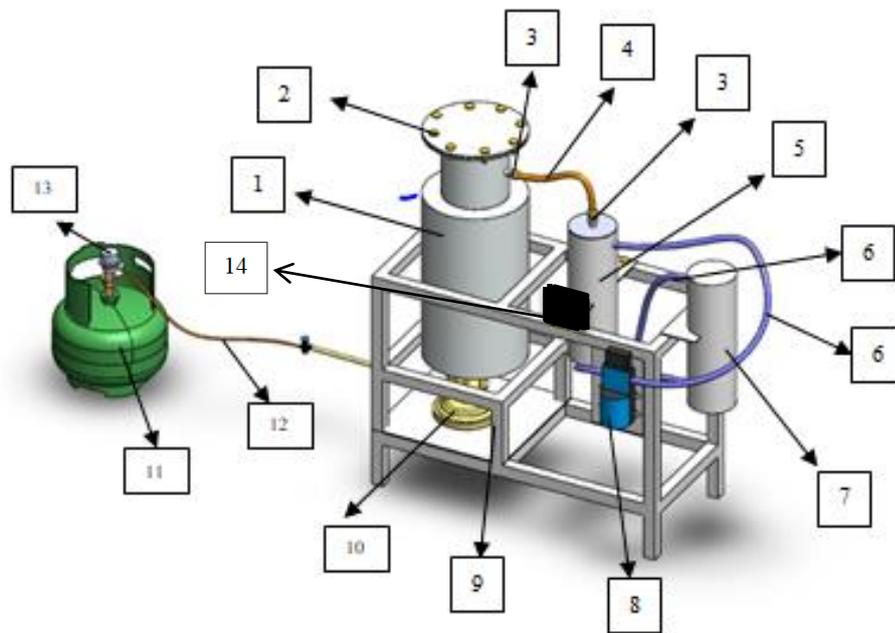


Gambar 3.46 Diagram Alir Penelitian

Flow chart berdasarkan gambar 3.46 di atas menggambarkan tahapan - tahapan pengerjaan pembuatan pirolisis dimulai dari pencarian literatur sampai pembutaan mesin.

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Rerancangan Mesin disesuaikan dengan tujuan, sifat, dan konteks lingkungan di mana proses tersebut terjadi. Mesin pengolahan limbah plastik ini mencakup reaktor utama yang terbuat dari bahan *stainless steel* dengan bentuk tabung, sistem kondensasi yang berfungsi sebagai pendingin uap, kompor gas sebagai sarana pembakaran (tungku pembakaran), dan wadah penampung minyak hasil dari proses pirolisis.



Gambar 3.47 Rancangan Mesin Pengolahan Limbah Plastik Padat Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis

Keterangan :

1. Tabung reaktor
2. Baut dan mur
3. *Nepel chamber AC*
4. Pipa tembaga
5. Tabung Kondensor

6. Selang air
7. Tabung air
8. Pompa air
9. Rangka Mesin Pirolisis
10. kompor
11. Tabung gas 3 kg
12. Selang tabung gas
13. Regulator gas
14. kotak termometer digital

Tabel 3.2 Rencana Produksi dan Pembelian Komponen.

No	Komponen Utama	Buat	Beli	Keterangan
1	Rangka	✓		Dibuat menggunakan <i>hollow Stenlless Stell</i> dan plat <i>Stenlless Stell</i>
2	Reaktor	✓	✓	Menggunakan bahan bahan yang dibeli seperti pipa, <i>barometer</i> , <i>termometer</i> , <i>savty valve</i> , baut, mur dan ring. Kemudian dirakit membentuk reaktor yang telah di desain.
3	Sistem Pendinginan	✓	✓	Menggunakan bahan yang dibeli seperti pipa, mesin pompa, selang air, plat, dan pipa tembaga. Kemudian dirakit membentuk desain yang telah ditentukan.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang di lakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Pembuatan dilakukan dengan proses pengelasan mesin las argon. Dimulai dari pembuatan rangka untuk menopang tabung reaktor di posisi kiri serta tempat untuk tungku pembakaran dibawah tabung reaktor juga untuk menopang tabung kondensor dengan ukuran yang ditentukan sesuai desain. Bahan yang digunakan dalam pembuatan rangka ini menggunakan bahan baja *profil hollow* dengan ukuran 25 x 25 mm. Pembuatan tabung reaktor, dengan menggunakan tabung baja *stainless steels* bekas dimana dalam perencanaan ukuran tabung berdiameter 300 mm, dan tinggi tabung 220 mm. Pembuatan tabung kondensor air bersirkulasi, bahan yang digunakan ialah pipa *stainless steels* bekas dengan diameter 100 mm . Didalam tabung kondensor ini

terdapat sebuah pipa tembaga sebagai tempat proses pendinginan uap panas menjadi cairan. Kondensor air ini didesain bersirkulasi agar suhu pada kondensor tetap selalu dingin, dimana terdapat 1 lubang air dingin masuk diatas tabung dan 1 lubang keluar untuk air panas dibawah kondensor. Sistem sirkulasi air ini di bantu menggunakan mesin pompa air mini.

2. Pengujian pada mesin akan dilakukan berulang kali untuk mengetahui kebocoran pada tabung reaktor dan tabung kondensor. Jika terjadinya kebocoran maka akan dilakukan proses pengelasan ulang sampai tidak ada lagi titik kebocoran pada tabung reaktor dan kondensor. Setelah itu lakukan proses pengujian ulang dari awal proses limbah sampah plastik dimasukkan hingga limbah sampah plastic PP habis terurai.
3. Untuk memahami proses parameter dalam proses pengujian perlu di pantau dan di catat agar dapat mengetahui kemampuan dan ketahanan mesin dalam mengolah limbah sampah plastik PP. Proses ini di pantau dan dicatat mulai dari awal proses pemanasan tabung reaktor hingga hasilnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Komponen

Bab ini akan menjelaskan proses pembuatan, perakitan, pengujian, dan evaluasi parameter mesin pirolisis sesuai dengan tujuan penelitian yang telah diuraikan pada Bab 1. Mesin pirolisis merupakan alat yang dirancang untuk mengolah limbah plastik menjadi limbah cair yang dapat diolah menjadi bahan bakar cair melalui proses pemanasan tanpa oksigen. Berikut adalah langkah-langkah rinci dalam proses pembuatan mesin pirolisis dari bahan stainless steel.

4.1.1 Pembuatan Rangka

Pemotongan *stainless steel hollow* 25 x 25 mm dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda tangan yang terlebih dahulu dipasangkan *Cutting Wheel* (mata gerinda potong), dengan ukuran seperti pada table 4.1.



Gambar 4.1 Pemotongan *Stainless Stell Hollow*

Table 4.1 Ukuran Pemotongan *stainless stell hollow*

<i>Stainless Stell Hollow</i> 25 x 25	
Panjang (mm)	Jumlah
380	4
650	4
300	4
270	2
252	4
150	2

Setelah pemotongan dilakukan agar mendapatkan hasil yang baik pada saat pengelasan. Selanjutnya pada setiap ujung besi *stainless stell hollow* kita buat

meruncing dengan menggunakan besi siku agar mendapatkan sudut yang sama.



Gambar 4.2 Proses Pemotongan Sudut *Stainless Steel Hollow*

Proses pengelasan rangka menggunakan mesin las argon dengan arus 79 ampere, kemudian hubungkan satu persatu setiap potongan *Stainless Steel Hollow* dengan bentuk desain yang sudah ditetapkan yaitu panjang 650 mm dan lebar 300 mm serta memiliki tempat kedudukan reaktor dan tempat tungku pembakaran . Pada saat proses penyambungan gunakanlah pengaris besi siku agar sudut yang didapatkan presisi yaitu sudut 90 derajat.



Gambar 4.3 Proses Pengelasan Rangka

Pemotongan atau pembuatan alas tungku pembakaran, ini menggunakan plat dan dibentuk persegi dengan ukuran 300 x 300 mm dan setiap sudutnya dipotong membentuk persegi dengan ukuran 25 x 25 mm. Sebelum melakukan pemotongan tandai terlebih dahulu dengan cat air merah agar ukurannya sesuai. Kemudian untuk membentuk persegi pada sudut plat yang sudah dipotong gunakanlah penggaris siku besi agar lebih presisi.



Gambar 4.4 Proses Pembuatan Alas Tungku

Proses pengelasan alas untuk tungku pembakaran dimana, pengelasan ini dilakukan dengan mesin las argon menggunakan arus 79 ampere. Alas ini berfungsi untuk sebagai menopang tungku pembakaran.



Gambar 4.5 Proses Pengelasan Alas Tungku

Pengelasan dilakukan menggunakan arus 75 ampere, pengelasan ini hanya sekedar ditek dikarenakan fungsinya agar tidak berpindah posisi pada saat proses pembakaran terjadi.



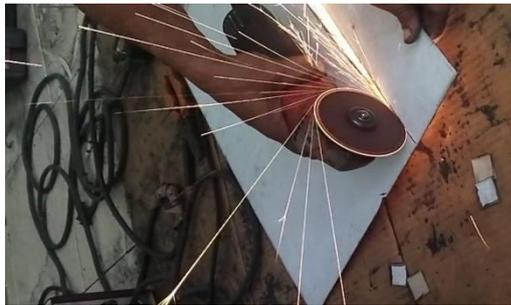
Gambar 4.6 Pengelasan Tungku Pembakaran

Proses pengelasan pembuatan kedudukan ini berfungsi untuk tempat kedudukan reaktor. Pengelasan ini menggunakan arus 79 ampere.



Gambar 4.7 Proses pembuatan Dudukan reaktor

Pemotongan plat *Stainless Steel* dengan ukuran 300 x 300 mm sebanyak 3 buah. Ini digunakan untuk dinding atau pelindung agar api pada kompor burner tidak tertiup angin sehingga api dapat menyala dengan stabil.



Gambar 4.8 Pemotongan plat *stainless steel*

Proses pengelasan ini berfungsi untuk dinding pada sisi kompor burner. Pengelasan ini menggunakan arus 84 ampere.



Gambar 4.9 Pengelasan dinding kompor

4.1.2 Perakitan Reaktor Pirolisis

Pengelasan alas dan leher untuk tutup reaktor ini menggunakan arus 87 ampere. Proses pengelasan ini menggunakan pipa dengan ukuran diameter 218 mm dan menggunakan pipa berdiameter 140 mm sebagai leheran tutup reaktor. Tabung reaktor ini berfungsi untuk tempat proses pembakaran limbah plastik PP berlangsung.



Gambar 4.10 Proses pengelasan tabung reaktor

Proses pengeboran pada 3 titik, proses pengeboran (*drilling*) ini bertujuan untuk tempat *barometer*, *thermometer*, dan *safety valve*. Sebelum di bor dilakukan pengetokan menggunakan mata ketok dengan cara dipukul (diberi tekanan) dengan menggunakan palu. Mata bor yang digunakan adalah mata bor 12 mm tetapi dilakukan secara bertahap menggunakan mata bor 10 mm terlebih dahulu.



Gambar 4.11 Proses Pengeboran

Pengelasan derat mur sebanyak 3 buah yang, akan digunakan sebagai pengikat atau pengencangan barometer, thermometer, dan safety valve sehingga dapat dibongkar dan dipasang kembali dengan mudah dan tanpa kerusakan komponen.



Gambar 4.12 Proses pengelasan derat

Proses pengeboran tutup reaktor, ini berfungsi untuk lubang tempat posisi baut yang akan digunakan sebagai pengencangan pada saat pengoprasian. Sehingga pada saat pengoprasian tutup reaktor dapat dibuka dan ditutup dengan menggunakan baut, mur, dan ring double. Pengeboran ini dilakukan di bengkel bubut dikarenakan mata bor yang dimiliki tidak dapat melakukan proses pengeboran.



Gambar 4.13 Proses pengeboran tutup reaktor

Pengelasan tutup reaktor yang sudah dibor pada leher tabung reaktor kemudian dilakukan pengeboran pada dinding leher reaktor. Lubang ini akan berfungsi sebagai saluran uap yang menuju ke kondensor. Sama seperti

sebelumnya lakukan pengetokan terlebih dahulu sebelum pengeboran dan lakukan pengeboran secara bertahap agar tidak terjadinya kerusakan pada mata bor.



Gambar 4.14 Proses pengeboran saluran penghubung

Setelah semua sudah selesai selanjutnya pasang semua komponen-komponen yang melekat pada tabung reaktor untuk memastikan semua sesuai dan presisi.



Gambar 4.15 Tabung raktor yang sudah selesai

Reaktor ini adalah perangkat yang dirancang untuk melakukan pirolisis, yaitu proses termal yang memecah bahan limbah plastik PP dalam kondisi tidak adanya oksigen. Pada tabung reaktor terdapat 3 komponen yang menempel pada tabung tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15 dimana sebelah kiri merupakan thermometer suhu panas, sebelah kanan, merupakan safety valve, dan posisi tengah merupakan barometer.

4.1.3 Pembuatan Sistem Pendingin

Proses pembuatan lilitan spiral ini menggunakan pipa yang sedikit lebih kecil dari ukuran pipa kondensor. Proses ini dilakukan dengan cara menahan ujung pipa tembaga dengan tangan kemudian gulung pipa tembaga mengelilingi pipa. Terus gulung pipa tembaga hingga mencapai 6 lilitan atau gulungan, setelah sesuai potong pipa tembaga menggunakan *pipe cutter*.



Gambar 4.16 Proses pembuatan spiral

Lakukan pemotongan plat berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm setelah itu lanjut baut lubang untuk jalur pipa tembaga keluar tabung kondensor dengan cara di bor menggunakan mata bor (terlebih dahulu lakukan pengetokan agar memudahkan proses pengeboran). Pembuatan ini di perlukan 2 buah plat berbentuk bulat dengan lubang ditengahnya, ini berfungsi sebagai alas dan penutup tabung kondensor pendinginan.



Gambar 4.17 Proses pembuatan tutup kondensor

Proses pengeboran tabung kondensor dan tabung penampung air, Dimana tabung kondensor dan tabung penampung air di lubangin dua bagian yaitu bagian

atas dan bagian bawah untuk tempat nepel yang berfungsi sebagai tempat kedudukan selang yang akan mengalirkan air sehingga membuatnya bersirkulasi.



Gambar 4.18 Proses pengeboran tabung kondensor dan penampung air

Setelah itu masukkan spiral yang sudah dibentuk tadi kemudian tutup dengan plat yang sudah dibuat dan di lubangi tengahnya. Pastikan lakukan dengan perlahan pada saat proses memasukkan pipa tembaga lubang tutup kondensornya dikarenakan pipa tembaga sangat rawan bengkok atau patah, sebelum dilakukan pengelasan sebaiknya lakukan pengecekan terlebih dahulu pada pipa spiral tersebut agar tidak ada kebocoran.



Gambar 4.19 Memasukkan spiral pada tabung kondensor

Proses pengelasan tutup kondensor dan pengelasan pipa tembaga ke tutup dan memberi mur sebagai derat atau perekat untuk ball valve pada kondensornya agar tidak terjadi kebocoran pada saat proses pirolisis berlangsung. Pengelasan

pada tutup kondensor menggunakan arus 80 ampere, sedangkan pada saat pengelasan pipa tembaga dengan tutup kondensornya menggunakan arus yang lebih kecil yaitu 70 ampere.



Gambar 4.20 Proses pengelasan tutup, pipa spiral, derat mur pada kondensor

Proses pengelasan dudukan kondensor dengan menggunakan arus 87 ampere, pastikan menggunakan pengaris siku besi untuk menentukan posisi lurus tidaknya kondensor. Pengelasan ini berfungsi sebagai tempat atau pegangan kondensor agar berada pada tempatnya dan agar kondensor dapat dibongkar pasang secara mudah .



Gambar 4.21 Proses pengelasan dudukan kondensor

Sebelum proses pengelasan pertama-tama adalah pembuatan dudukan pipa agar dapat presisi saat pengelasan pada kerangka mesin. Proses pengelasan tabung

penampung air pada kerangka dengan menggunakan arus 87 ampere, sebelum itu pastikan juga posisi tabung sudah posisi tegak lurus untuk memastikan posisi itu gunakan roll besi siku agar tidak terjadi kemiringan.



Gambar 4.22 Pengelasan tabung penampung air

Proses pengelasan nepel pada kondensor dan tabung penampung air, pengelasan ini menggunakan tang sebagai penjepit nepel agar mudah untuk dipegang pada saat pengelasan. Proses pengelasan menggunakan arus 79 ampere, pengelasan ini berfungsi untuk tempat keluar masuknya air dari kondensor dan tempat penampungan air sehingga air dapat dialirkan melalui pipa selang dengan mudah.



Gambar 4.23 Proses pengelasan nepel

Proses pengeboran tabung kondensor pada posisi dekat dengan lubang air keluar dan masuk. Dimana tabung kondensor di lubangi dua bagian yaitu bagian atas dan bagian bawah untuk tempat sensor thermometer digital .



Gambar 4.24 Pengeboran untuk sensor air

Setelah dilubangi selanjutnya campurkan kedua lem *epoxy* dengan perbandingan 1 : 1 sesuai anjuran pemakaian. Kemudian masukkan sensor termometer digital kemudian oleskan lem *epoxy* pada sisi luar lubang dengan merata dan pastikan tidak ada sela.



Gambar 4.25 Pengeleman *epoxy*

Setelah semua proses pengelasan telah selesai, terakhir adalah pembuatan pipa penghubung dari tabung reaktor ke kondensor agar uap panas yang keluar dapat mengalir pada tabung kondensor, sehingga uap panas dapat dikondensasikan dengan lebih efektif. Pembuatan pipa penghubung ini menggunakan pipa tembaga dengan kondisi ujung pipa tembaga di beri nepel ac sebagai pengikat agar tidak terjadi kebocoran dan agar dapat dibongkar pasang,

sehingga dapat mengecek kondisi pipa penghubung secara berkala. Proses pengabungan nepel ini menggunakan alat Flaring and Swaging Tool. Dimana setiap ujung pipa dilakukan pelebaran agar dapat tersambung pada nepel secara presisi.



Gambar 4.26 Pipa penghubung

Kemudian buat kotak untuk tempat atau rumahan termometer suhu air agar terlihat lebih rapi dan tidak berantakan. Proses pembuatan ini awalnya dilakukan pengukuran ukuran termometer digitalnya agar tidak terlalu lebar. Selanjutnya panaskan pisau guna untuk melubangi sesuai bentuk termometer digital. Pastikan buat lubang yang berbentuk kotak secara presisi agar termometer digital tidak mudah lepas. Setelah itu pasang termometer di lubang yang sudah di buat tadi. Setelah itu lubangi bagian alas box seukuran baut 12 mm yang digunakan untuk pengikat *box* pada rangka mesin.



Gambar 4.27 Kotak Termometer suhu air

4.2. Pembahasan Mesin Pirolisis

4.2.1 Spesifikasi Hasil Alat



Gambar 4.28 Hasil Akhir

1. Ukuran rangka
 - a. Panjang : 650 mm
 - b. Lebar : 300 mm
 - c. Tinggi : 380 mm
2. Ukuran reaktor
 - a. Tinggi : 370 mm
 - b. Diameter : \varnothing 210 mm
3. Ukuran kondensor
 - a. Tinggi : 330 mm
 - b. Diameter : \varnothing 100 mm

4. Ukuran bak air
 - a. Tinggi : 310 mm
 - b. Diameter : 100 mm
5. Ukuran tembaga
 - a. Diameter : \varnothing 5 mm
6. Ukuran selang
 - a. Diameter : \varnothing 15 mm

4.2.2 Pengujian Alat

Berikut adalah proses pengujian penggunaan mesin pengolah limbah plastic padat menjadi limbah cair dengan metode pirolisis

1. Potong-potong plastik PP menjadi empat bagian atau lebih. Kemudian masukkan limbah plastic PP ke dalam tabung reaktor.



Gambar 4.29 Pematangan plastic PP

2. Kemudian tutup tabung reaktor dan kencangkan semua baut dan murnya menggunakan kunci yang sesuai, pastikan pada saat proses pengencangan baut lakukan secara menyilang agar tutup rapat merata.



Gambar 4.30 Proses pengencangan tutup reaktor

3. Pasangkan pipa penghubung antara reaktor dengan kondensor. Gunakan dua kunci yang sesuai di mana salah satunya untuk menahan dan satunya lagi untuk mengencangkan agar pipa tembaga tidak terlilit pada saat proses pengencangan.



Gambar 4.31 Pemasangan Pipa penghubung

4. Setelah itu dapat kita lakukan proses pembakaran dengan menghubungkan regulator ke gas LPG kemudian putar ke arah kiri untuk membuka saluran gasnya. Setelahnya hidu plkan kompornya dengan ukuran api setengah besar.



Gambar 4.32 Pembukaan regulator

5. Kemudian isi kondensor dengan air menggunakan mesin pompa air dengan jalur air masuk melalui bawah. Setelah itu masukkan es batu pada tabung penampung air. Ini berfungsi untuk mendinginkan air dan membuat agar suhu air tetap dingin selama proses berlangsung



Gambar 4.33 Memasukkan es batu pada tabung

6. Tunggu hingga suhu uap reaktor mencapai 165-200°C kemudian lihat tekanan yang sudah dicapai oleh tabung reaktor.



Gambar 4.34 Suhu uap pada reaktor

7. jika tekanan sudah mencapai 20 psi maka *ball valve* sudah bisa dibuka beberapa detik untuk memastikan apakah minyak pirolisis sudah terbentuk. Jika belum ada maka tutup kembali *ball valve* dan tunggu hingga tekanan udaranya naik kembali.



Gambar 4.35 Tekanan udara pada reaktor

8. Lakukan proses 6 dan 7 sampai benar benar tidak terdapat tekanan udara lagi pada tabung reaktor. Itu menandakan bahwasannya bahan limbah plastik PP sudah tidak ada atau habis terurai, jika sudah habis maka proses pembakaran akan dihentikan dengan mematikan api.

4.2.4 Parameter Mesin

Berikut ini adalah parameter uji coba pada mesin pengolah limbah plastik menjadi limbah cair dengan metode pirolisis. Dalam pengujian ini, limbah plastik yang digunakan yaitu plastik berjenis PP dengan berat 1 Kg. Dalam mesin pirolisis ini, terdapat beberapa komponen pendukung yaitu ; *barometer*, *thermometer* suhu panas, dan *thermometer digital* suhu air. Pada table 4.2 menampilkan data hasil uji coba proses pirolisis 1 kg limbah plastik PP.

Proses ini melibatkan beberapa parameter penting, yaitu waktu, tekanan udara dalam reaktor, suhu uap panas reaktor, suhu kondensor (atas dan bawah), serta jumlah cairan pirolisis yang dihasilkan pada setiap interval waktu pengujian.

Waktu disini menjelaskan tentang kapan proses pembakaran reaktor dimulai dan berakhir. Tekanan menunjukkan tekanan udara yang sedang terjadi di dalam tabung reaktor pirolisis. Suhu uap panas menjelaskan tentang suhu yang telah dicapai oleh tabung reaktor pirolisis. Suhu air ini menjelaskan keadaan suhu air pada tabung kondensor pada bagian atas dan bawah kondensor. Sedangkan jumlah hasil adalah cairan yang dihasilkan selama setiap proses interval waktu.

Tabel 4.2 Parameter mesin pirolisis

No.	Waktu (Jam)		Tekanan Udara (psi)	Suhu uap panas Reaktor (°C)	Suhu Kondensor (°C)		Jumlah Hasil (ml)
	Mulai	Stop			Atas	Bawah	
1.	14.28	14.52	20	120	17.6	16.1	30
2.	14.53	15.00	16	170	19.5	18.4	40
3.	15.02	15.07	14.5	190	21.0	19.3	20
4.	15.10	15.16	14.5	190	27.8	20.8	20
5.	15.24	15.39	20	190	15.3	13.2	70
6.	15.42	15.53	20	200	14.7	13.9	89
7.	15.55	16.07	20	175	17.6	16.81	80
8.	16.09	16.22	20	190	23.0	21.9	90
9.	16.23	16.32	20	200	8.1	7.8	90
10.	16.33	16.42	20	180	14.1	11.1	100
11.	16.43	16.50	20	175	20.1	14.5	70
12.	16.52	17.00	20	175	17.9	17.1	80
13.	17.01	17.20	11.6	140	24.1	23.3	10
14.	17.21	17.32	11.6	140	25.9	24.7	5
Total							794

Proses pirolisis dimulai pada pukul 14:28 dan berakhir pada pukul 17:32, berlangsung selama total sekitar 3 jam. Waktu dicatat dalam 14 interval, masing-masing interval mengindikasikan durasi proses pirolisis pada titik waktu tertentu. Setiap interval mencatat waktu mulai dan berhenti, yang memungkinkan pengamatan terhadap perubahan proses dalam setiap fase.

Dalam proses ini tekanan ditetapkan pada 20 psi, harus segera membuka *ball valve* agar tidak terjadinya kebocoran pada sambungan pipa penghubung yang keluar melalui sambungan *nepel*. Tekanan udara di dalam reaktor pirolisis dicatat selama setiap interval waktu. Tekanan awalnya berada pada 20 psi dan akan tetap pada kisaran ini untuk sebagian besar interval pengujian. Namun, pada interval ke-2, tekanan turun menjadi 16 psi, kemudian turun lagi menjadi 14.5 psi pada interval ke-3 dan ke-4, penurunan ini menunjukkan kondisi awal yang belum

stabil dikarenakan belum cukup banyak uap yang dihasilkan sehingga tekanan turun sementara sebelum kembali naik pada saat proses pemanasan dimulai. Setelah interval ke-4, tekanan kembali ke 20 psi hingga interval ke-12. Pada dua interval terakhir (ke-13 dan ke-14), tekanan menurun signifikan menjadi 11.6 psi. Penurunan tekanan ini menunjukkan bahwa seluruh material plastik PP di dalam reaktor telah habis terurai, menandai akhir dari proses pirolisis.

Suhu uap panas di dalam reaktor juga diukur dan dicatat pada setiap interval. Suhu awal berada di 120°C pada interval pertama dan secara bertahap meningkat selama proses, mencapai suhu tertinggi 200°C pada interval ke-6 dan ke-9. Suhu ini kemudian sedikit menurun hingga 140°C pada dua interval terakhir, menunjukkan penurunan aktivitas pirolisis seiring dengan berkurangnya material yang diurai di dalam reaktor.

Suhu kondensor diukur pada bagian atas dan bawah kondensor untuk memantau proses pendinginan uap menjadi cairan. Suhu di bagian atas kondensor berkisar dari 8.1°C hingga 27.8°C, sedangkan suhu di bagian bawah kondensor berkisar dari 7.8°C hingga 24.7°C. Suhu yang relatif rendah pada kondensor menunjukkan sistem pendinginan yang baik, yang membantu mengubah uap hasil pirolisis menjadi cairan.

Jumlah cairan hasil pirolisis yang diperoleh dicatat pada setiap interval waktu. Total cairan yang dihasilkan dari 1 kg limbah plastik PP adalah 794 ml. Jumlah cairan yang dihasilkan bervariasi, dengan hasil terbesar dicapai pada interval ke-10 yaitu 100 ml dan hasil terkecil pada interval ke-14 yaitu 5 ml. Secara keseluruhan, proses pirolisis berhasil mengkonversi 1 kg limbah plastik PP menjadi 794 ml cairan selama 3 jam. Penurunan tekanan pada akhir pengujian menunjukkan bahwa proses pirolisis telah selesai, dengan seluruh material plastik terurai sepenuhnya.



Gambar 4.40 Hasil Pirolisis

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menghasilkan mesin pirolisis yang dirancang untuk mengolah limbah plastik PP menjadi limbah cair yang dapat diolah menjadi bahan bakar. Mesin ini dibuat menggunakan bahan *stainless steel* dan melibatkan berbagai tahapan pembuatan, perakitan, pengujian kebocoran. Pada tahap pembuatan komponen, rangka mesin, alas tungku, dan dudukan reaktor berhasil dibuat menggunakan teknik pemotongan dan pengelasan menggunakan mesin las argon.

Rangka mesin dibentuk dari *stainless steel hollow* yang dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan dan dirangkai menggunakan mesin las argon dengan arus yang bervariasi. Selain itu, sistem pendingin kondensor dirancang menggunakan pipa tembaga yang dibentuk spiral guna memfasilitasi proses kondensasi uap panas menjadi cairan. Pada proses pengujian, mesin pirolisis terbukti mampu mengolah limbah plastik PP dengan baik. Mesin berhasil menghasilkan 794 ml cairan pirolisis dari total 1 kg limbah plastik PP, yang setara dengan 79,4% dari total material yang diolah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian mesin pirolisis, beberapa saran dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut. Untuk meningkatkan efisiensi dan volume produksi, disarankan agar mesin pirolisis dikembangkan dengan kapasitas yang lebih besar. Selain itu, disarankan untuk mengoptimalkan ukuran pipa tembaga yang digunakan dalam sistem mesin. Penggunaan pipa tembaga dengan diameter yang lebih besar akan membantu meningkatkan aliran hasil pirolisis, sehingga hasil produk cair yang diperoleh dapat lebih maksimal dan efisiensi keseluruhan proses pirolisis dapat ditingkatkan.

Daftar Pustaka

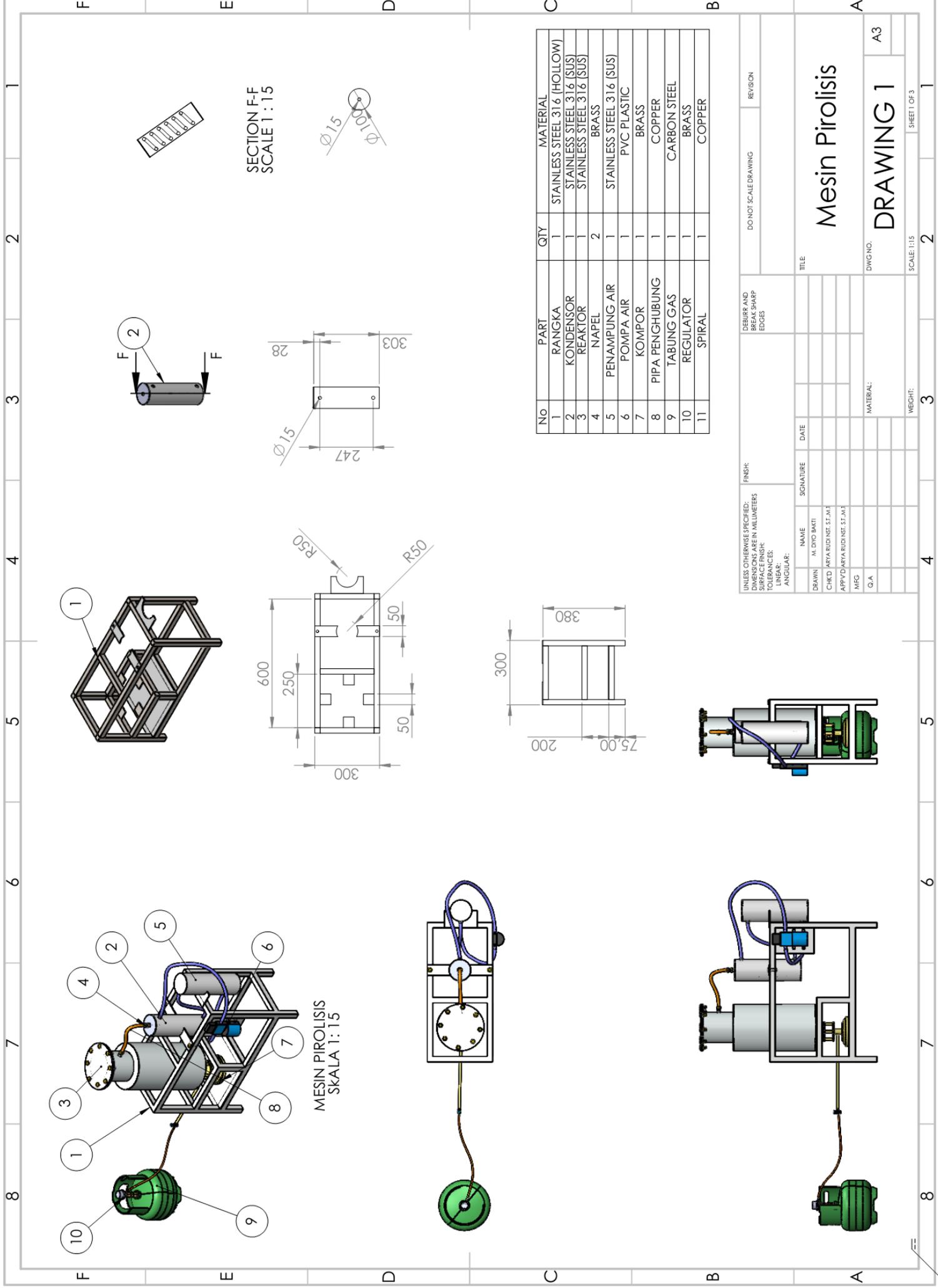
- Al-Rumaihi, A., Shahbaz, M., Mckay, G., Mackey, H., & Al-Ansari, T. (2022). A review of pyrolysis technologies and feedstock: A blending approach for plastic and biomass towards optimum biochar yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167(March), 112715. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112715>
- Armenise, S., SyieLuing, W., Ramírez-Velásquez, J. M., Launay, F., Wuebben, D., Ngadi, N., Rams, J., & Muñoz, M. (2021). Plastic waste recycling via pyrolysis: A bibliometric survey and literature review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105265>
- Cahyono, M. S. (2013). Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 5(2), 67–76. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol5.iss2.art1>
- Chen, D., Yin, L., Wang, H., & He, P. (2014). Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, 34(12), 2466–2486. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.004>
- Faisal, F., Rasul, M. G., & Chowdhury, A. A. (2024). *Optimisation of Process Parameters to Maximise the Oil Yield from Pyrolysis of Mixed Waste Plastics*.
- Gusniar, I. N. (2018). Metode Pembuatan Paving Block Segi Enam Berbahan Sampah Plastik Dengan Mesin Injection Molding. *Barometer*, 3(2), 130–133. <https://doi.org/10.35261/barometer.v3i2.1388>
- Maskun, M., Assidiq, H., Bachril, S. N., & Al Mukarramah, N. H. (2022). Tinjauan Normatif Penerapan Prinsip Tanggung Jawab Produsen Dalam Pengaturan Tata Kelola Sampah Plastik Di Indonesia. *Bina Hukum Lingkungan*, 6(2), 184–200. <https://doi.org/10.24970/bhl.v6i2.239>
- Mokhtar, A., Jufri, M., Supriyanto, H., & Person, K. (2018). Perancangan Pirolisis Untuk Membuat Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Kapasitas 10 Kg. *Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa*, 126–132.
- Nofendri, Y., & Haryanto, A. (2021). Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik

- Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(1), 1–11.
<https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4454>
- Novita, S. A., Fudholi, A., & Doktoral. (2021). Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4 (1)(1), 53–67.
- Rahman, A., Fauzan, & Kurniawan, E. (2016). Uji Parameter Temperatur Dan Tekanan Vakum Terhadap Yield Cangkang Kemiri Pada Proses Pirolisis. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2, 1–5.
- Rakhmah, A. A., Ramadhan, D., & Zahراسيwi, R. F. (2023). *Pemanfaatan Potensi Sampah Sebagai Sumber Energi*. 1(4).
- Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri K.S, R. (2015). Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis. *Konversi*, 4(2), 16.
<https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>
- Seri Maulina, & Feni Sari Putri. (2017). Pengaruh Suhu, Waktu, Dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 35–40. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i2.1581>
- Setiawan, R., Dharma, U. S., Andriyansyah, N., Irawan, D., & Yanto, R. (2020). Pembuatan minyak plastik dengan metode destilasi bertingkat. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(1), 35–40.
<https://doi.org/10.24127/armatur.v1i1.188>
- Situmorang, R. (2022). Prosedur Perakitan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda. In *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]* (Vol. 2).
<http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/1521>
- Suminto, S. (2017). Ecobrick: solusi cerdas dan kreatif untuk mengatasi sampah plastik. *PRODUCTUM Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk)*, 3(1), 26.
<https://doi.org/10.24821/productum.v3i1.1735>
- Untoro Budi, S. (2018). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Envirotek*, 3(1), 32–40.
- Vijayakumar, A., & Sebastian, J. (2018). Pyrolysis process to produce fuel from different types of plastic - A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 396(1). <https://doi.org/10.1088/1757->

- WIBOWO, A. S. A. (2011). *Studi sifat minyak pirolisis campuran sampah biomasa dan sampah plastik polypropylene (pp)*.
- Kim, I. S., Son, J. S., & Rhee, S. H. (2003). "An Investigation into the Effect of Welding Parameters on Weld Quality in Gas Metal Arc Welding (GMAW)." *Journal of Materials Processing Technology*, 134(3), 172-178.
- Andrianto, S., & Firmansyah, D. (2021). Keterbatasan penggunaan TIG untuk material tebal dalam aplikasi industri. *Jurnal Teknologi Material*, 9 (4), 76-83.
- Fran Nur Felani, & Kosjoko. (2017). Analisis kekuatan material baja tahan karat AISI 304 pada proses pengelasan TIG. *Jurnal Teknik Mesin*, 5 (2), 88-95.
- Lestari, M., & Supriyanto, A. (2022). Aspek kesehatan dan keselamatan dalam pengelasan TIG. *Jurnal Keselamatan Kerja*, 7 (2), 22-30.
- Nugraha, H. (2019). Biaya operasional dan keuntungan penggunaan pengelasan TIG di industri konstruksi. *Jurnal Ekonomi Teknik*, 8 (3), 45-53.
- Nugroho, R., & Darmawan, T. (2022). Sistem pendingin dalam pengelasan TIG untuk aplikasi arus tinggi. *Jurnal Teknologi Las*, 10 (1), 12-18.
- Prasetyo, A., & Kurniawan, B. (2020). Pengelasan TIG: Teknik dan aplikasi dalam industri. *Jurnal Teknik dan Rekayasa*, 15 (3), 102-110.
- Rahman, F., & Nugroho, R. (2020). Prinsip kerja pengelasan TIG dan penerapannya pada logam tipis. *Jurnal Teknologi Pengelasan*, 11 (2), 52-61.
- Ramdani, S., & Firdaus, M. (2018). Pengelasan TIG untuk konstruksi: Aplikasi dan tantangan. *Jurnal Konstruksi Bangunan*, 14 (4), 88-94.
- Santoso, A., & Rahman, F. (2018). Analisis efisiensi pengelasan TIG pada industri otomotif. *Jurnal Teknik Mesin*, 11 (2), 63-71.
- Setiawan, B., & Kurniawan, D. (2021). Efektivitas sistem pendingin dalam pengelasan TIG. *Jurnal Teknik Material*, 13 (1), 39-47.
- Siregar, T. (2019). Keunggulan pengelasan TIG untuk logam non-ferrous. *Jurnal Metalurgi dan Material*, 6 (3), 33-42.
- Susanto, H. (2021). Penggunaan pengelasan TIG pada industri otomotif dan kedirgantaraan. *Jurnal Teknologi Industri*, 17 (5), 111-118.

LAMPIRAN



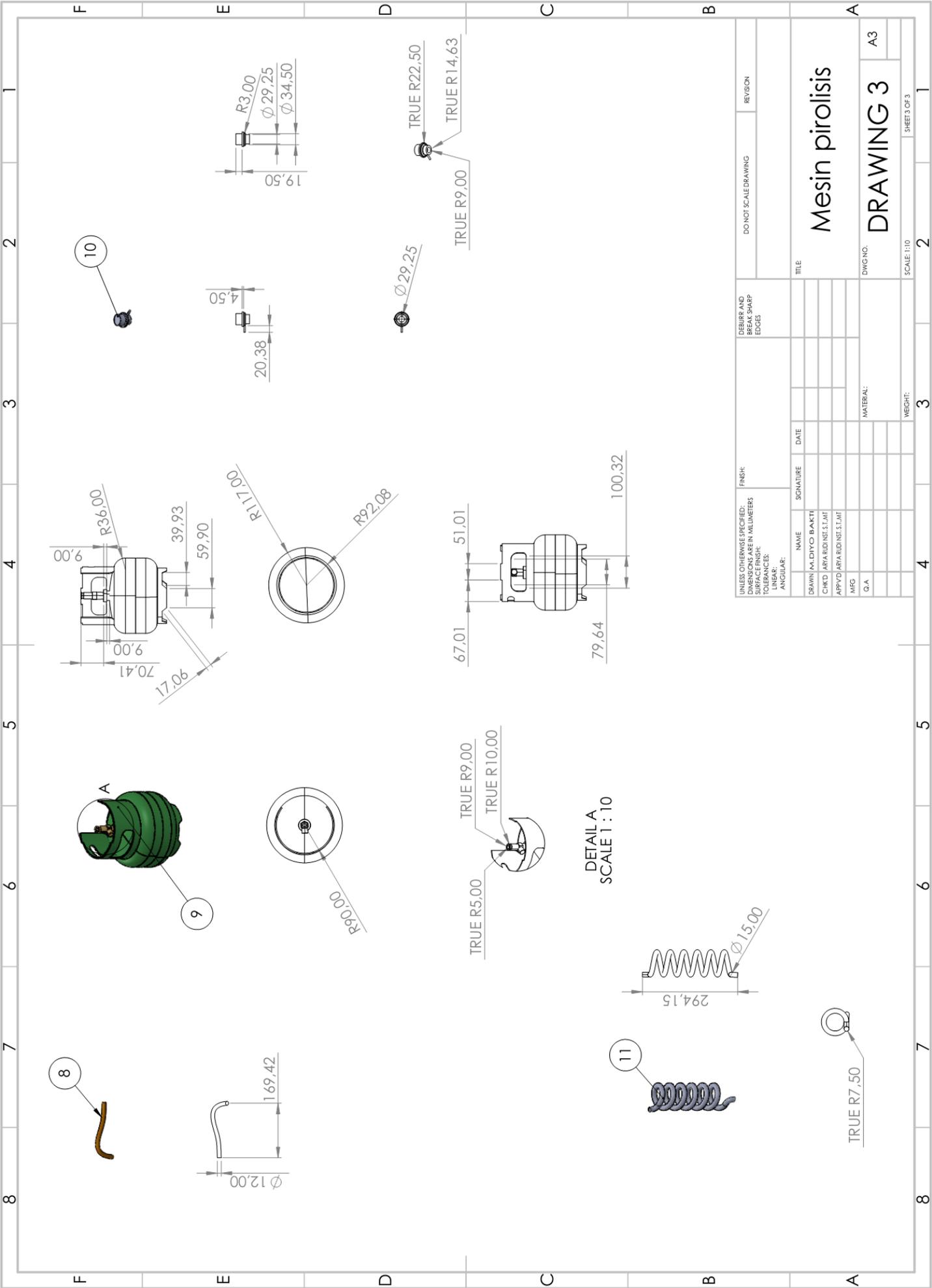


SECTION F-F
SCALE 1 : 15

MESIN PIROLISIS
SKALA 1 : 15

NO	PART	QTY	MATERIAL
1	RANGKA	1	STAINLESS STEEL 316 (HOLLOW)
2	KONDENSOR	1	STAINLESS STEEL 316 (SUS)
3	REAKTOR	1	STAINLESS STEEL 316 (SUS)
4	NAPEL	2	BRASS
5	PENAMPUNG AIR	1	STAINLESS STEEL 316 (SUS)
6	POMPA AIR	1	PVC PLASTIC
7	KOMPOR	1	BRASS
8	PIPA PENGHUBUNG	1	COPPER
9	TABUNG GAS	1	CARBON STEEL
10	REGULATOR	1	BRASS
11	SPIRAL	1	COPPER

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND REMOVE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE						
	M. DYO BAKTI								
	CHKD. ARTA RUDI NISI. S.T.,A.T.								
	APPYDARYA RUDI NISI. S.T.,A.T.								
MFG									
G.A.									
TITLE:				Mesin Pirolisis					
DWG NO.:				DRAWING 1					
SCALE: 1:15				SHEET 1 OF 3		2		1	
WEIGHT:				3		2		1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS IN MILLIMETERS		FINISH:		REVISIONS AND BREAKS/SPAR EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:		NAME		DATE		TITLE			
TOLERANCES:		SIGNATURE				Mesin pirolisis			
LINEAR:		DRAWN M. DIYO BAKTI				DRAWING NO. A3			
ANGULAR:		CHKD. ARIYU BUDI NIST. I. LMT				SCALE: 1:10			
		APPY'D ARIYU BUDI NIST. I. LMT				WEIGHT:			
		MFG				SHEET 3 OF 3			
		Q.A				MATERIAL:			

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PP
Menjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis
Nama : Muhammad Diyo Bakti
NPM : 2007230102
Dosen Pembimbing : Arya Rudi Nasution, S.T.,M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Rabu 07	Perambahan Latar Belakang	✓
		Revisi bab II	✓
		Tambahan Bab II Pengujian	✓
		Revisi Jurnal Bab III	✓
		Revisi Foto pada bab IV	✓
		Acc Sidang	✓



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Akreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAN-PT/Ak.KP/PT/XU/2022
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 1301/II.3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 26 Agustus 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : MUHAMMAD DIYO BAKTI
Npm : 2007230102
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VIII (DELAPAN)
Judul Tugas Akhir : PEMBUATAN MESIN PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK PP
MENJADI LIMBAH CAIR DENGAN METODE PIROLISIS

Pembimbing : ARYA RUDI NASUTION, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 21 Safar 1446 H
26 Agustus 2024 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Muhammad Diyo Bakti
 NPM : 2007230102
 Judul Tugas Akhir : Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PPMenjadi Limbah Cair Dengan Metode Pirolisis

DAFTAR HADIR

TANDA TANGAN

Pembimbing – I : Arya Rudi Nasution, ST, MT :
 Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc :
 Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT :

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230083	Rizky Syahputra Panggabeh	
2	1907230105	Alfi SYAHRI S	
3	2007230005	M. Akbar	
4	1707230009	Ebi FCFBRIANISYAH	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin

Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Muhammad Diyo Bakti
NPM : 2007230102
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PPMenjadi Limbah Cair
Dengan Metode Pirolisis
Dosen Pembanding -- I : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembanding -- II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembimbing -- I : Arya Rudi Nasution, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... chat kulum skripsi
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan, 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I


H. Muharnif, ST, M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Muhammad Diyo Bakti
NPM : 2007230102
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Mesin Pengolah Limbah Plastik PPMenjadi Limbah Cair
Dengan Metode Pirolisis

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Arya Rudi Nasution, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....*Tambah Dokumentasi pengujian*.....

.....*Lihat laporan*.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II


Ahmad Marabdi Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Diyo Bakti
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir : Pulau Rakyat Pekan, 01 Juni 2003
Alamat : Jl. Ampera V No. 45
Agama : ISLAM
E-mail : muhammadiyahobakti@gmail.com
No.Hp : 085383698316

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 014658 Baru Tahun 2008-2014
2. SMPN 01 Pulau Rakyat Tahun 2014-2017
3. SMK Swasta AL-Washliyah 2 Perdagangan Tahun 2017-2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020-2024