

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN ALAT PENYULING LIMBAH PLASTIK KET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) DAN PP (POLYPROPYLENE) MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK BERKAPASITAS 3KG

*Diajukan Untu Memenuhi Syarat Meperoleh
Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh:

M CHAIRUL FAHMI
NPM. 1807230148



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARAMEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Chairul Fahmi

NPM : 1807230148

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pembuatan Alat Penyuling Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan PP (Polypropylene) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3kg

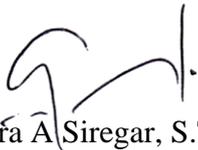
Bidang ilmu : Konstruksi dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Desember 2024

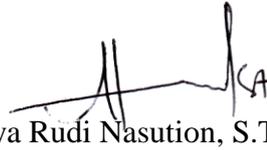
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandfa A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



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

Dosen Penguji III



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

Program Studi Teknik Mesin

Ketua



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Chairul Fahmi
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 15 Maret 2000
NPM : 1807230148
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pembuatan Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3 Kg”,

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 hakekatnya bukan merupakan karya tulis Proposal 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/kesarjanaan 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, Desember 2024

Saya yang menyatakan,



M. Chairul Fahmi

ABSTRAK

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antara 300°-800°C. dari permasalahan diatas maka penelitian ini dilakukan untuk membuat alat penyuling limbah plastik PET(*polyethylene terephthalate*) dan PP(*polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak berkapasitas 3kg. Bahan yang digunakan pada pembuatan reaktor berbahan stainless steel 304 berkapasitas 3 kg menggunakan sistem kerja *fixed bed reactor*. Dengan tujuan untuk membuat, menilai dan mengembangkan alat penyuling limbah plastik menjadi bahan bakar minyak. Hasil dari pembuatan alat penyuling limbah plastik dapat melelehkan plastik hingga menjadi minyak dibutuhkan waktu selama 4 – 5 jam pembakaran, hasil pembakaran limbah plastik sebanyak 3 kg mampu menghasilkan minyak dari pengolahan plastik jenis PET sebanyak 0,7 liter yang dilakukan proses pembakaran selama 4 – 5 jam. Sedangkan pengolahan limbah plastik jenis PP mampu menghasilkan minyak sebanyak 1,2 liter yang di lakukan pembakaran selama 5 – 6 jam serta temperatur tertinggi yang mampu dicapai oleh reaktor sebesar 470°C.

Kata kunci : pirolisis, fixed bed reactor, polypropylene, *polyethylene terephthalate*

ABSTRACT

Pyrolysis is a thermal degradation process of polymer materials such as plastic or organic materials such as biomass by heating without involving oxygen in it. This process generally takes place at temperatures between 300°-800°C. from the problems above, this study was conducted to create a PET (polyethylene terephthalate) and PP (polypropylene) plastic waste distiller into fuel oil with a capacity of 3 kg. The materials used in making the reactor are made of 3 kg stainless steel 304 using a fixed bed reactor working system. With the aim of creating, assessing and developing a plastic waste distiller into fuel oil. The results of making a plastic waste distiller can melt plastic into oil, it takes 4-5 hours of burning, the results of burning 3 kg of plastic waste can produce oil from the processing of PET type plastic as much as 0.7 liters which is carried out in the burning process for 4-5 hours. While the processing of PP type plastic waste can produce 1.2 liters of oil which is burned for 5-6 hours and the highest temperature that can be achieved by the reactor is 470°C.

Keyword : pyrolysis, fixed bed reactor, polypropylene, polyethylene terephthalate

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pembuatan Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3 Kg” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing dan Penguji III yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku dosen penguji I sekaligus Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T selaku dosen penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Ryatno dan Nuryati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Sahabat-sahabat penulis: Gogo Priatama, Syahban Lubis, Muhammad Kamilul Haykal, Rasyid Ali Akbar, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, dan ucapan terima kasih terkhusus kepada istriku tersayang Pratiwi Idrus, yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir 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 ini dapat bermanfaat bagi dunia Konstruksi dan Manufaktur teknik mesin.

Medan, Desember 2024

M. Chairul Fahmi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	5
1.3. Ruang lingkup	5
1.4. Tujuan	5
1.5. Manfaat	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Sampah Plastik	7
2.2. Plastik	8
2.2.1. Jenis - Jenis Plastik	9
2.2.2. Konversi Sampah Plastik Menjadi Minyak	11
2.3. Pirolisis	12
2.3.1. Klasifikasi Pirolisis	13
2.3.2. Proses Pirolisis	15
2.4. Reaktor	18
2.4.1. Jenis-jenis Reaktor	19
2.4.2. Pemilihan Reaktor	23
2.4.3. Aplikasi <i>Fixed Bed Reactor</i>	25
2.5. Proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik	26
2.5.1. Komponen alat pirolisis sampah plastik	28

2.5.2. Pembuatan tangki	29
2.5.3. Penutup (<i>head</i>)	30
2.6. Penelitian Terdahulu	31
BAB 3 METODOLOGI	33
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.1.1. Tempat	33
3.1.2. Waktu	33
3.2. Bahan dan Alat	34
3.2.1. Bahan	34
3.2.2. Alat	35
3.3. Bagan Alir Penelitian	41
3.4. Rancangan Alat Penelitian	42
3.5. Prosedur Pembuatan	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Hasil Pembuatan Pirolisis Sampah Plastik	46
4.1.1. Hasil Pembuatan Rangka	46
4.1.2. Hasil Pembuatan Tabung Reaktor	47
4.1.3. Hasil Pembuatan Kondensor	48
4.1.4. Pembuatan Tabung Penyimpanan Bahan Bakar	48
4.1.5. Hasil Pembuatan Jalur Pipa	49
4.1.6. Hasil Pembuatan Tabung Anti <i>Fire Back</i>	49
4.2. Pembahasan	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

57

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

SURAT PENENTU TUGAS AKHIR

BERITA ACARA DAFTAR HADIR SEMINAR

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Plastik, Kode Dan Penggunaannya	10
Tabel 2.2. parameter Operasi Dan Produk Hasil Pirolisis	15
Tabel 2.3. Hubungan Diameter Elektroda Dengan Arus Pengelasan	27
Tabel 2.4. Pembeda Dengan Alat Pirolisis Yang Sejenis	31
Tabel 3.1 Rencana Pelaksanaan Penelitian	33
Tabel 4.1 weld subject to direct and bending stresses	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi Sederhana Proses Pirolisis	12
Gambar 2.2 Reaktor <i>fixed moving Bed</i>	19
Gambar 2.3 Reaktor <i>Bubbling Fluidized Bed</i>	20
Gambar 2.4 Reaktor <i>Circulating Fluidized Bed</i>	20
Gambar 2.5 Reaktor <i>Ultra Rapid Pyrolyze</i>	21
Gambar 2.6 Reaktor <i>Rotating Cone</i>	21
Gambar 2.7 Reaktor <i>Ablative Pyrolyzer</i>	22
Gambar 2.8 Reaktor <i>Vacuum Pyrolyzer</i>	23
Gambar 2.9 <i>Adiabatic fixed-bed reactor</i>	24
Gambar 2.10 <i>Multitubular fixed-bed reactor</i>	24
Gambar 2.11 Reaksi adisi hidrogen ke asam maleat	25
Gambar 2.12. Jenis-Jenis Tangki	28
Gambar 3.1. Jenis Plastik PP	31
Gambar 3.2. Jenis Plastik PET	31
Gambar 3.3. Plat stainless steel 304	32
Gambar 3.4. Kunci 30 dan Ring Pas	32
Gambar 3.5. Baut kepala nepel model corong	33
Gambar 3.6. Baut nepel	33
Gambar 3.7. Mesin gerinda tangan	34
Gambar 3.8. Bor tangan	34
Gambar 3.9. Meteran	35
Gambar 3.10. Sarung tangan	35
Gambar 3.11. Mesin Las TIG	36
Gambar 3.12. Gunting plat	36
Gambar 3.13. Kompor gas	37
Gambar 3.14. Bagan Alir Penelitian	38
Gambar 3.15. Rancangan Sistem Reaktor Pirolisis	39
Gambar 3.16. Tabung Reaktor	40
Gambar 3.17. Rangka	41
Gambar 4.1. Hasil Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik	43
Gambar 4.2. Hasil Pembuatan Rangka	44
Gambar 4.3. Hasil Pembuatan Tabung Reaktor	44
Gambar 4.4. Hasil Pembuatan Kondensor	45
Gambar 4.5. Hasil Pembuatan Tabung Penyimpan Bahan Bakar	46
Gambar 4.6. Hasil Pembuatan Jalur Pipa	46
Gambar 4.7. Hasil Pembuatan Tabung Anti <i>Fire Back</i>	47
Gambar 4.8. Proses Pemotongan Besi <i>Hollow</i>	47
Gambar 4.9. Proses Pengelasan Rangka	48
Gambar 4.10. Proses Pembengkokan Selang Penghubung	48
Gambar 4.11. Pemotongan Plat Untuk Tabung Reaktor	49
Gambar 4.12. Membentuk Plat Besi Menggunakan Mesin <i>Roll</i>	49
Gambar 4.13. Proses Pembengkokan Selang Penghubung	50
Gambar 4.14. Proses Pengelasan Tabung Kondensor	50
Gambar 4.15. Proses Perakitan <i>Cover</i> Rangka	51

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Laju perpindahan panas	J/s
qr	Perpindahan panas radiasi	W
A	Luas perpindahan panas	m ²
hc	Koefisiensi perpindahan panas	W/m ² K
q	Laju perpindahan panas konveksi	W
ΔT	Perubahan temperatur	K
Δx	Tebal atau jarak	m
Mc	Aliran masa yang melalui tube	kg/s
Mh	Aliran massa yang melalui shell	kg/s
ρ	Massa jenis fluida	kg/m ³
v	Kecepatan aliran fluida	m/s
k	Konduksi thermal	W/m ²
D	Diameter efektif aliran fluida	m

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produksi sampah nasional menunjukkan tren yang terus meningkat seiring dengan terjadinya pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk (Kholidah dkk, 2018). Salah satu jenis sampah yang menjadi perhatian adalah sampah plastik (Dokhikhah dkk, 2015). Kontribusi sampah plastik terhadap total produksi sampah nasional mencapai 15% dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 14,7% per tahun dan menempatkan sampah plastik sebagai kontributor terbesar kedua setelah sampah organik (Trihadiningrum dkk, 2006).

Persentase kontribusi sampah plastik di Indonesia tidak jauh berbeda dengan Malaysia (14%) dan Thailand (16%) namun lebih rendah dibandingkan Singapura (27,3%) (AOP, 2007). Namun secara riil, produksi sampah plastik di Indonesia sangat besar sebab secara total produksi sampah Indonesia mencapai 189 kilo ton/hari jauh lebih besar dibandingkan dengan negara-negara di Asia Tenggara (Kholidah dkk, 2018). Hal ini disebabkan jumlah penduduk Indonesia yang lebih besar dibandingkan dengan jumlah penduduk negara-negara di Asia Tenggara.

Penggunaan plastik sendiri diakibatkan karena bertambah banyaknya populasi masyarakat dan juga industri yang berkembang di sekitar masyarakat. Hal ini didukung juga dengan kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh bahan plastik itu sendiri jika dibandingkan dengan bahan lainnya, banyak kelebihan yang dimiliki plastik yaitu, murah, ringan, dan cukup kuat. Dibalik banyaknya kelebihan tersebut plastik juga memiliki kekurangan yaitu ketika plastik sudah tidak digunakan, atau sudah menjadi sampah maka bahan plastik akan sangat sulit terurai. Sedangkan kebutuhan penggunaan plastik di Indonesia mengalami peningkatan rata-rata 200.000 kg per tahun (Rahyani, 2001). Saat ini sampah plastik pada umumnya hanya dibuang (landfill), dibakar atau didaur ulang (*recycle*) (Hilola dan Lalu, 2017).

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi atau proses penggabungan molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik

merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen, pada pembuatan plastik salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah bahan penyulingan minyak bumi atau gas alam (Panda, 2011). Menurut (Obeid, dkk, 2014). Plastik merupakan material yang kuat dan tidak mudah pecah, ringan, anti karat, mudah diwarnai dan dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik.

Polypropylane adalah jenis plastik yang kuat dan semi transparan. Polypropylane lebih berat dan lebih kuat dari polyethylene. Plastik yang terbuat dari polyethylene ini tidak memiliki zat berbahaya, polypropylene dianggap aman bagi manusia sebagai paket untuk makanan dan minuman (Alabi 2019). PP merupakan polimer jenuh dengan rantai hidrokarbon linear itu memiliki ketahanan kimia dan panas yang baik. PET memiliki sifat yang berbeda. PET merupakan polimer semi kristal dan secara kimiawi dan termal stabil. Polimer ini memiliki berat molekul berkisar antara 30.000 hingga 80.000 gmol (Alshehrei,2017). PET juga memiliki sifat yang intrinsik, sifat-sifat yang sangat cocok untuk kapasitas besar, ringan, wadah tahan tekanan (Sharuddin 2016).

Salah satu alternatif penanganan sampah plastik adalah dengan melakukan proses daur ulang (recycle). Pirolisis sampah plastik merupakan salah satu bentuk proses daur ulang dengan mengubah plastik menjadi bahan bakar. Selain bermanfaat untuk mengurangi jumlah sampah plastik, pirolisis sampah plastik juga bermanfaat untuk menyediakan bahan bakar dengan nilai energi yang cukup tinggi. Secara umum, kurang lebih 950 ml minyak bakar bisa diperoleh dari pirolisis 1 kg plastik Polyolefin misalnya Polypropylene, Polyethylene dan Polystyrene (Thorat, dkk, 2013).

Reaktor digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis. Reaktor terdiri dari sebuah tabung, tutup tabung, thermocouple dan pipa output. Tabung reaktor berfungsi sebagai tempat penampungan material uji yang akan dipirolisis. Jenis reaktor yang digunakan adalah *fixed bed* yang beroperasi pada reaktor tetap, keuntungan menggunakan reaktor ini adalah sederhana, lebih murah, teknologi yang sudah terbukti (proven), dan dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan 28 kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat massa

bahan uji, sehingga perlu dibersihkan sebelum menggunakan ke pengoperasian berikutnya (Sentilkumar, 2015).

Pembuatan tabung reaktor, bahan yang digunakan menggunakan bahan stainless steel 300 dengan ketebalan 0,5mm. Bahan *stainless steel* mempunyai banyak kelebihan di antaranya, tahan terhadap korosi, dan tahan suhu tinggi atau titik leburnya yang tinggi. Pengelasan (*Welding*) adalah teknik penyambungan bahan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi. Pengelasan merupakan cara utama dalam proses pembuatan alat pirolisator limbah plastik sebagai metode penyambungan pipa sambungan dan pemasangan. pipa kondensor jenis spiral. Ada dua metode pengelasan yang digunakan dalam proses pembuatan alat pirolisator limbah plastik, antara lain: Las listrik adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan elektroda dan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Las asetilen adalah pengelasan yang dilakukan dengan pencampuran dua jenis gas sebagai pembentuk nyala api dan sebagai sumber panas.

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antar 300-800°C (Aguado, 2007). Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin (Mochamad Syamsiro, 2015).

Bahan baku yang sangat cocok adalah material termoplastik. Bahan baku ini akan melunak karena pemanasan dan sebaliknya akan mengeras lagi bila didinginkan. Transformasi bahan baku ini hanya bersifat fisik bukan perubahan kimiawi sehingga memungkinkan untuk medaur ulang bahan baku sesuai dengan kebutuhan. Bahan baku plastik yang dicairkan pada silinder pemanas, temperaturnya dalam rentang 117 °C hingga 274 °C atau disesuaikan anjuran dari manufaktur pembuat material plastik (Fadhlurrohman, F., Dkk., 2020).

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik (Damanhuri, E., 2009). Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan ,residu dan tar mencapai konstan . Nilai waktu tak hingga ini dihitung dari sejak proses isothermal berlangsung ,tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar) (Sumarni , 2008).

Misalnya dengan menggunakan limbah plastik untuk diolah menjadi bahan bakar yang ramah lingkungan. Plastik jenis Polypropilene paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena memiliki sifat mekanis yang baik dengan massa jenis yang rendah, ketahanan panas dan kelembaban, serta memiliki kestabilan dimensi yang baik. Disamping manfaatnya dampak yang ditimbulkan dapat merusak lingkungan karena sulit terurai dalam tanah dan dapat menyebabkan banjir apabila di atas permukaan tanah. Seiring dengan dampak yang ditimbulkan kebutuhan akan bahan bakar semakin meningkat sedangkan sumber bahan bakar yang kita gunakan tidak dapat diperbaharui (Non Reversible), sehingga penelitian ini bertujuan memanfaatkan sampah plastik menjadi bahan bakar dengan menspesifikasikan dan menganalisa kualitas produk bahan bakar dari plastik jenis polypropilene (Tharir, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh (Aprian Ramadhan P. dan Munawar Ali 2008). Pada rentang suhu 200-4200 C menyatakan bahwa semakin tinggi suhu proses, maka massa yang ada didalam reactor akan semakin turun. Dengan bertambah tingginya suhu pemanasan maka zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (minyak).

Penelitian yang dilakukan oleh (Nurzaelani, M. M. 2020) menyatakan bahwa pengolahan plastic menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) tersebut potensi yang didapat adalah 1 Kg sampah plasik dapat disuling menjadi +/-1 liter BBM. Bahan bakar yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dan mesin air, serta keperluan lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sukardi, 2019) menyatakan bahwa hasil dari pembuatan alat setelah dilakukan pengujian dengan sampah kantong plastik

sebanyak 0,5 kg menghasilkan minyak pirolisis 46,67 ml. dan setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai kalor : 45,17, nilai densitas yaitu 1 dan viskositas 174,4. Berdasarkan standar mutu BBM Indonesia maka minyak pirolisis yang dihasilkan memenuhi standar untuk menjadi bahan bakar.

Dengan latar belakang ini, maka penelitian yang dilakukan sebagai tugas sarjana dengan judul ***“Pembuatan Alat Penyuling Limbah Plastik PET (polyethylene terephthalate) Dan PP (polypropylene) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3kg”***.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah, dapat dirumuskan masalahnya yaitu :
Bagaimana Membuat Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*polyethylene terephthalate*) Dan PP (*polypropylene*) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3kg”.

1.3. Ruang Lingkup

Agar pembahasan tidak terjebak dalam pembahasan yang tidak perlu maka dibuat ruang lingkup yang meliputi :

1. Bahan yang digunakan pada pembuatan reaktor berbahan stainless steel 304.
2. Kapasitas tabung reaktor dapat memuat limbah plastik sebanyak 3kg.
3. Reaktor yang dibuat menggunakan metode *fixed bed reaktor*.
4. Proses manufaktur yang digunakan dalam pembuatan alat pirolisi sampah plastik menggunakan metode pengelasan

1.4. Tujuan

1. Untuk membuat alat penyuling limbah plastik menjadi bahan bakar minyak.
2. Untuk menilai hasil pembuatan alat penyuling limbah plastik menjadi bahan bakar minyak.
3. Untuk mengembangkan alat penyuling limbah plastik yang menjadi bahan bakar minyak.

1.5. Manfaat

1. Dapat membantu mengurangi timbunan sampah plastik yang terjadi di lingkungan masyarakat.
2. Dengan adanya alat penyuling limbah plastik diharapkan dapat menjadi salah satu cara untuk mengurangi pencemaran terhadap lingkungan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah Plastik

Permasalahan sampah di Indonesia merupakan masalah yang belum terselesaikan hingga saat ini, Sementara itu dengan bertambahnya jumlah penduduk maka akan mengikuti pula bertambahnya volume timbulan sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Komposisi sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia adalah sampah organik sebanyak 60-70% dan sisanya adalah sampah non organik 30-40%, sementara itu dari sampah non organik tersebut komposisi sampah terbanyak kedua yaitu sebesar 14% adalah sampah plastik. Sampah plastik yang terbanyak adalah jenis kantong plastik atau kantong kresek selain plastik kemasan. Indonesia masuk dalam peringkat kedua dunia setelah Cina menghasilkan sampah plastik di perairan mencapai 187,2 juta ton. Hal itu berkaitan dengan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menyebutkan bahwa plastik hasil dari 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) dalam waktu 1 tahun saja, telah mencapai 10,95 juta lembar sampah kantong plastik. Jumlah itu ternyata setara dengan luasan 65,7 hektar kantong plastik (Jambeck, 2015).

Kebutuhan plastik di Indonesia mengalami peningkatan hingga rata-rata 200 ton per tahun. Pada tahun 2002 tercatat sebesar 1,9 juta ton, tahun 2003 naik menjadi 2,1 juta ton dan pada tahun 2004 terus mengalami peningkatan menjadi 2,3 juta ton pertahunnya. Pada tahun 2010 penggunaan plastik mencapai 2,4 juta ton dan pada tahun 2011 terus meningkat menjadi 2,6 juta ton. Akibat dari peningkatan jumlah pemakaian plastik ini maka bertambah pula sampah plastik (Didi Iswadi, 2017).

Sebelum kantong plastik muncul, manusia menggunakan tas dari bahan alami seperti rajutan akar, daun dan kain. Saat ini meskipun telah membawa tas yang cukup besar, banyak orang tetap meminta kantong plastik saat berbelanja. Plastik telah menjadi bagian dari gaya hidup kita. Sejauh ini keterlibatan masyarakat dalam mengurangi pemakaian dan mendaur ulang plastik masih sangat minim. Biasanya plastik dibakar untuk memusnahkannya dari pandangan.

Padahal, jika pembakaran plastik tidak sempurna (di bawah 800°C) dapat membentuk dioksin, yaitu senyawa yang dapat memicu kanker, hepatitis, pembengkakan hati dan gangguan system saraf (Sirait, 2009).

Berdasarkan asalnya, sampah plastik dibedakan menjadi sampah plastik industri dan sampah plastik rumah tangga. Sampah plastik industri berasal dari industri pembuatan plastik maupun industri yang bergerak di bidang pemrosesan. Sampah plastik rumah tangga dihasilkan terkait dengan aktivitas manusia sehari-hari misalnya plastik kemasan, plastik tempat makanan atau minuman (Syamsiro dkk, 2013).

Pengolahan sampah menjadi plastik memiliki masalah yang cukup serius dikarenakan material yang tidak bias terdekomposisi secara alami sehingga pengolahan sampah plastik dengan *landfill* maupun *open dumping* tidak dapat dilakukan. Pengolahan sampah plastik saat ini sudah banyak dilakukan salah satunya dengan cara pembakaran, tetapi pembakaran sampah memiliki dampak negatif terhadap lingkungan sekitar yaitu terjadinya pencemaran udara (Jamiko Wahyudi, 2018).

2.2. Plastik

Plastik merupakan salah satu produk turunan dari minyak bumi. Oleh karena itu, plastik mempunyai kandungan energi yang tinggi seperti bahan bakar pada umumnya seperti bensin, solar dan minyak tanah (Mochamad Syamsiro, 2015).

Plastik merupakan material terbuat dari nafta yang merupakan produk turunan minyak bumi yang diperoleh melalui proses penyulingan. Karakteristik plastik memiliki ikatan kimia yang sangat kuat sehingga banyak material yang dipakai oleh masyarakat berasal dari plastik. Namun plastik merupakan material yang tidak bias terdekomposisi secara alami (*non biodegradable*) sehingga setelah digunakan, material yang berbahan baku plastik akan menjadi sampah yang sulit diuraikan oleh mikroba tanah dan akan mencemari lingkungan (Jatmiko Wahyudi, 2018).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang bila digunakan untuk membuat material tertentu dapat didaur ulang dan dibuat menjadi bentuk material

yang lain melalui proses pemanasan. Contoh *thermoplastic* antara lain yaitu *Polyethylene, Polypropylene, Nylon, Polycarbonate*. *Thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam material tertentu, tidak dapat dicairkan untuk didaur ulang atau dibuat produk lain. Contoh plastik yang termasuk *thermosetting* antara lain *Phenol formaldehyde, Urea Formaldehyde, Melamine Formaldehyde* (Das & Pandey, 2007).

2.2.1. Jenis-jenis Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi , untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya (Kumar dkk, 2011).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (UNEP, 2009). Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang.

Dari berbagai jenis plastik, jenis plastik yang sering digunakan adalah PET yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral (Endang K, 2016).

Tabel 2.1. Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Kurniawan, 2012)

No.	Jenis Plastik Kode	Penggunaan
1	PET (polyethylene terephthalate)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (High- density Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (Low- density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (Polypropylene atau Polypropene)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (Polystyrene)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggaan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan

kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budyantoro, 2010).

Plastik yang mengalami proses pirolisis akan terdekomposisi menjadi material-material pada fase cair dalam bentuk minyak bakar, fase gas berupa campuran gas yang dapat terkondensasi maupun tidak dapat terkondensasi dan fase padat berupa residu maupun tar (Hamidi dkk, 2013). Dibandingkan dengan bio-fuel seperti biodiesel maupun bioetanol, minyak hasil pirolisis plastik memiliki beberapa kelebihan. Minyak hasil pirolisis tidak mengandung air sehingga nilai kalorinya lebih besar. Selain itu, minyak hasil pirolisis tidak mengandung oksigen sehingga tidak menyebabkan korosi (Hidayah & Syafrudin, 2018).

2.2.2. Koversi sampah plastik menjadi minyak

Mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk daur ulang tresier. Merubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses *Cracking* (perekahan). Cracking adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses cracking plastik ini dapat diguna sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses cracking yaitu hidro cracking, thermal cracking dan catalytic cracking (Panda, 2011).

Penelitian yang dilakukan oleh (Osueke dan Ofundu 2011), konversi plastik low density polyethylene (LDPE) menjadi minyak. Proses konversi dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan thermal cracking dan catalyst cracking. Pyrolysis dilakukan di dalam tabung stainless steel yang dipanaskan dengan elemen pemanas listrik dengan temperatur bervariasi antara 475–600°C. Kondenser dengan temperatur 30–35°C, digunakan untuk mengembunkan gas yang terbentuk setelah plastik dipanaskan menjadi minyak.

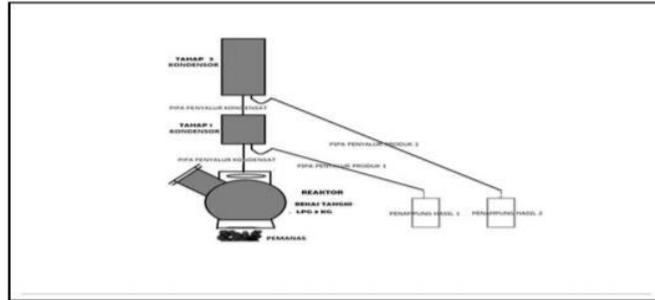
Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah silica alumina. Dari penelitian ini diketahui bahwa dengan temperatur pyrolisis 550°C dan perbandingan katalis/sampah plastik 1:4 dihasilkan minyak dengan jumlah paling banyak.

2.3. Pirolisis

Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Proses ini umumnya berlangsung pada temperatur antar 300-800°C (Aguado, 2007).

Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek. Selanjutnya proses pendinginan dilakukan pada gas tersebut sehingga akan mengalami kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun bahan bakar diesel (Mochamad Syamsiro, 2015). Pirolisis berasal dari dua kata yakni, *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis merupakan penguraian biomassa oleh panas pada suhu lebih dari 150oC (Jatmiko Wahyudi, 2018)

Metode pirolisis dapat digunakan untuk mengolah sampah yang berasal dari rumah tangga, seperti sampah kertas, sampah plastik, dan sampah tekstil. Cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis merupakan campuran kompleks senyawa organik antara lain stirena, etil-benzena, toluena, dan lain-lain. Proses pirolisis menghasilkan padatan yang mengandung char atau residu dan bahan organik yang terkandung dalam bahan baku. Selain itu, pirolisis juga menghasilkan gas yang terdiri dari hidrokarbon, CO dan CO₂ yang memiliki nilai kalor yang tinggi (Qonita Rachmawati dan Welly Herumurti, 2015).



Gambar 2.1. Ilustrasi Sederhana Proses Pirolisis (Jatmiko Wahyudi, 2018)

Pirolisis ada 3 cara yang sering dilakukan untuk mengekstrak energi dari biomassa yaitu:

1. Pembakaran

Oksidasi bahan bakar yang biomassa dapat sepenuhnya teroksidasi dan ditransfer menjadi panas. Namun, efisiensi dari proses ini hanya sekitar 10% dan dengan cara ini penggunaan merupakan sumber polusi yang cukup besar.

2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah sebagian proses oksidasi yang mengubah bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Proses gasifikasi dari limbah terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dari pirolisis dan dengan penambahan oksigen yang terkontrol. Reaksi dasar gasifikasi adalah : $C_nH_m + 0,55n O_2 \rightarrow nCO + 0,5m H_2$. Proses gasifikasi pada hakikatnya mengoksidasi suplai hidrokarbon pada lingkungan yang terkontrol untuk memproduksi gas sintetis yang memiliki nilai komersial yang signifikan. Perbedaan gasifikasi dengan pirolisis dan pembakaran: berdasarkan kebutuhan udara yang diperlukan selama proses.

2.3.1. Klasifikasi Pirolisis

Berdasarkan kondisi operasi pirolisis diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

1. Pirolisis Lambat

Pirolisis lambat telah digunakan selama ribuan tahun untuk meningkatkan produksi arang pada suhu rendah dan tingkat pemanasan yang rendah. Dalam proses ini, waktu tinggal uap terlalu tinggi (5 menit sampai 30 menit) dan komponen dalam fase uap terus bereaksi satu sama lain yang menghasilkan char padat dan cairan lainnya. Namun, pirolisis

lambat memiliki beberapa keterbatasan teknologi yang membuat itu tidak mungkin cocok untuk produksi bio-minyak berkualitas baik. Produk utama dalam proses pirolisis lambat terjadi karena waktu tinggal yang tinggi dan dapat mempengaruhi bio-minyak hasil dan kualitas. Selain itu, waktu tinggal yang lama dan transfer panas yang rendah menuntut masukan energi ekstra.

2. Pirolisis Cepat

Dalam proses pirolisis cepat, biomassa cepat dipanaskan sampai suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Biasanya secara berat, pirolisis cepat menghasilkan 60% - 75% dari produk berminyak (minyak dan lainnya Cairan) dengan 15% -25% dari padatan (terutama biochar) dan 10% -20% dari fase gas tergantung pada bahan baku yang digunakan. Produksi cairan biasanya dihasilkan dari biomassa dalam suhu rendah, tinggi laju pemanasan dan waktu tinggal yang singkat . Karakteristik dasar dari proses pirolisis cepat ialah transfer panas tinggi dan tingkat pemanasan, sangat singkat waktu tinggal uap singkat, pendinginan uap cepat dan aerosol untuk tinggi yield bio-oil. Teknologi pirolisis cepat menerima popularitas yang luar biasa dalam memproduksi bahan bakar cair dan berbagai khusus dan komoditas bahan kimia. Produk cair ini dapat dengan mudah dan ekonomis diangkut dan disimpan, sehingga de-coupling penanganan biomassa padat dari pemanfaatan. Ia juga memiliki potensial untuk memasok sejumlah bahan kimia yang berharga yang menawarkan daya tarik nilai tambah yang jauh lebih tinggi daripada bahan bakar. Teknologi pirolisis cepat dapat memiliki biaya investasi yang relatif rendah dan energi tinggi efisiensi dibandingkan dengan proses lainnya, terutama pada skala kecil.

3. Pirolisis *Flash*

Flash pirolisis biomassa adalah proses yang menjanjikan untuk produksi bahan bakar padat, cair, dan gas dari biomassa yang dapat mencapai hingga 75% dari hasil bio-oil. Hal ini ditandai dengan devolatilisasi cepat dalam suasana inert, tingkat pemanasan partikel yang

tinggi, tinggi suhu reaksi antara 450 °C dan 1000 °C dan waktu tinggal gas yang sangat singkat (kurang dari 1s). Namun proses ini memiliki beberapa keterbatasan teknologi, misalnya: stabilitas termal yang buruk dan korosif minyak, padatan dalam minyak, Peningkatan viskositas dari waktu ke waktu oleh aksi katalitik char, alkali terkonsentrasi di char larut dalam minyak dan produksi air pirolitik. Adapun parameter operasi dan produk hasil pirolisis dijelaskan melalui tabel 2.2.

Tabel 2.2 parameter operasi dan produk hasil pirolisis (*Handbook*, 2010)

No	Proses Pirolisis	Waktu Tinggal Padatan (s)	Laju Pemanasan (°K/s)	Ukuran Partikel (mm)	Temperatur (°K)	Yield Produk (%)		
						Oil	Char	Gas
1	Lambat	450 – 550	0,1 - 1	5,0 - 50	550 - 950	30	35	35
2	Cepat	0,5 – 10	10 - 200	< 1	850 - 1250	50	20	30
3	<i>Flash</i>	< 0,5	> 1000	< 0,2	1050 - 1300	75	12	13

2.3.2. Proses Pirolisis

Proses pirolisis sampah plastik merupakan teknologi konversi termokimia. Masih perlu dikembangkan. Sebagai tambahan, keterbatasan data kinetik penentuan persamaan laju kalor terurai sepenuhnya. Proses pemecahan sampah plastik menjadi energi reaktor katalitik terfluidisasi atau fluidized bed reaktor (FBR). Pada reaktor dengan skala besar proses kontak antara fluida gas dengan limbah plastik, sering terjadi penyebaran fluida gas yang tidak merata saat proses kontak berlangsung. Pada penelitian yang dilakukan (Miller et al. 2005), bahan baku berupa low-density polyethylene (LDPE) dipanaskan hingga mencapai suhu 1000 C sampai 2000C sehingga menyebabkan low-density polyethylene mencair dan mengalami cracking menjadi komponen hidrokarbon. Konversi yang diperoleh pada penelitian tersebut adalah 60% yang terdegradasi. Konversi yang diperoleh belum optimal, hal ini dimungkinkan karena terjadi channeling pada reaktor dan kecepatan minimum fluidisasi yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan proses tersebut. Diperlukan proses tambahan untuk mendegradasi secara sempurna sampah plastik hasil sisa dari proses pirolisis.

Jika pirolisis ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal dalam bentuk produk liquid, temperature operasi yang rendah (425-600°C) dengan laju

pemanasan yang tinggi merupakan kondisi operasi pirolisis yang dibutuhkan (*fast pyrolysis*). Jika tujuan pirolisis untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas, maka temperatur operasi yang tinggi ($> 600^{\circ}\text{C}$) dan laju pemanasan yang tinggi, merupakan kondisi operasi yang sesuai (*flash pyrolysis*). Untuk produksi bio-arang (solid) maksimal, bio-gas dan bio-oil secara simultan, maka dapat digunakan teknik *slow pyrolysis* di mana temperatur operasi yang rendah (400°C) dan laju pemanasan yang rendah ($5\text{-}10^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Hal ini merupakan kondisi operasi yang memenuhi dan untuk mendapatkan bahan bakar padat dengan densitas energi yang tinggi dapat dilakukan dengan teknik pirolisis (*mild pyrolysis*) pada temperature $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$ dengan laju pemanasan yang rendah (Demirbas, 2009).

Di sisi lain, untuk pemahaman dasar dari proses pirolisis, parameter kimia kinetik proses dekomposisi termal diperoleh oleh beberapa peneliti, dan persamaan kinetik berasal dari bentuk yang disederhanakan. Hal ini juga diketahui bahwa kayu terdiri dari tiga komposisi utama, selulosa, hemiselulosa, dan lignin, tetapi ada banyak komposisi kecil lainnya yang terkandung di dalam biomassa, seperti ekstraktif organik dan mineral. Persamaan kinetik diidentifikasi untuk masing-masing komposisi utama, tetapi rasio komposisi bervariasi antara satu kayu dengan kayu lainnya, dan persamaan kinetik komposisi minor tidak tersedia. Akibatnya, tidak ada persamaan kinetik yang unik yang dapat mengungkapkan proses pirolisis secara keseluruhan (Yusrizal dan Idris, 2016).

Proses pirolisis akan mengalami perubahan sifat fisik dan sifat kimianya selama proses pirolisis berlangsung. Perubahan ini sangat ditentukan oleh berbagai parameter proses yang terlibat. Parameter tersebut meliputi temperatur operasi, laju pemanasan, waktu tinggal material, kehadiran oksigen, kadar air dan ukuran partikel material organik dan tekanan (Tumuluru, 2011).

1. Temperatur

Temperatur reaksi proses pirolisis berada pada kisaran $200\text{-}600^{\circ}\text{C}$. Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material sampah, jika temperatur reaksi terlalu tinggi melebihi temperatur pirolisis, tingkat dekomposisi akan sangat reaktif yang mengakibatkan komponen penyusun

material akan banyak dikonversikan ke dalam bentuk gas dan *liquid*. Konsekuensinya, produk padatan hasil pirolisis menjadi berkurang dengan waktu tinggal dalam reaktor yang lebih singkat (Sridhar, 2007).

2. Kadar air

Dalam proses pirolisis, kadar air memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap efisiensi proses pirolisis. Proses pirolisis dapat mengalami reaksi kedua dengan gas dan padatan yang akan mengekstrak fraksi yang dapat larut dalam air dan berakibat produk gas dan padatan jadi berkurang (Ciolkosz, 2011).

3. Waktu reaksi

Waktu reaksi berkaitan dengan lamanya waktu tahan material dalam reaktor. Lamanya waktu tinggal proses pirolisis pada dasarnya disesuaikan dengan material bahan baku yang digunakan dan setiap bahan baku mempunyai waktu tinggal yang proporsional (Basu, 2010).

4. 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).

5. Laju pemanasan

Laju pemanasan merupakan besarnya energi termal yang diberikan terhadap material persatuan waktu. Laju pemanasan ini akan menentukan komposisi produk yang dihasilkan. Jika laju pemanasan yang tinggi, kecendrungan produk dalam bentuk *liquid* dan gas (Luo, 2010).

6. Oksigen

Kehadiran oksigen dalam proses pirolisis akan mempengaruhi proses dekomposisi termal pada material lignoselulosa. Kehadiran oksigen akan memicu terjadinya proses pembakaran akibat reaksi oksidasi antara material organik dan oksigen (Klarsson, 2013).

7. Tekanan

Pada pirolisis vakum, tekanan menunjukkan banyaknya material bahan baku yang terdegradasi menjadi gas oleh panas selama proses. Dikarenakan volume reaktor tidak berubah dan dalam kondisi vakum, peningkatan jumlah gas akan meningkatkan tekanan reaktor. Tingginya tekanan juga dapat mempengaruhi dominan produk yang dihasilkan, tergantung temperatur dan waktu reaksi yang dioperasikan (Basu, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh (Ratnasari 2011), metode pirolisis dibedakan menjadi 2 metode yaitu pirolisis batch dan pirolisis kontinyu. Selain itu berdasarkan tingkat kecepatan reaksi, pirolisis dibedakan menjadi dua tipe yaitu pirolisis lambat dengan temperatur pembakaran $1500^{\circ}\text{C} - 3000^{\circ}\text{C}$ pada temperatur ini proses pirolisis akan lebih banyak menghasilkan char/residu. Sedangkan untuk pirolisis cepat terjadi pada temperatur $300^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$, produk yang dihasilkan antara lain *wax*, gas, dan char/residu.

2.4. Reaktor

Reaktor adalah jantung dari proses kimia. Reaktor adalah suatu tempat proses dimana bahan-bahan diubah menjadi produk, dan perancangan reaktor untuk industri kimia harus mengikuti keperluan dengan memperhatikan faktor 25 kimia atau reaksi kimia, faktor transfer panas, faktor transfer massa dan faktor keselamatan. (Raihan, 2018). Reaktor alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika. Dengan terjadinya reaksi inilah suatu bahan berubah ke bentuk bahan lainnya, perubahannya ada yang terjadi secara spontan alias terjadi dengan sendirinya atau bisa juga butuh bantuan energi seperti panas (contoh energi yang paling umum). Perubahan yang dimaksud adalah perubahan kimia, jadi terjadi perubahan bahan bukan fase misalnya dari air menjadi uap yang merupakan reaksi fisika.

Secara umum reaktor dibagi menjadi dua jenis yaitu reaktor nuklir dan reaktor kimia. Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi fisi tersebut dan reaktor kimia adalah alat yang dirancang sebagai tempat terjadinya reaksi kimia untuk mengubah bahan baku menjadi produk.

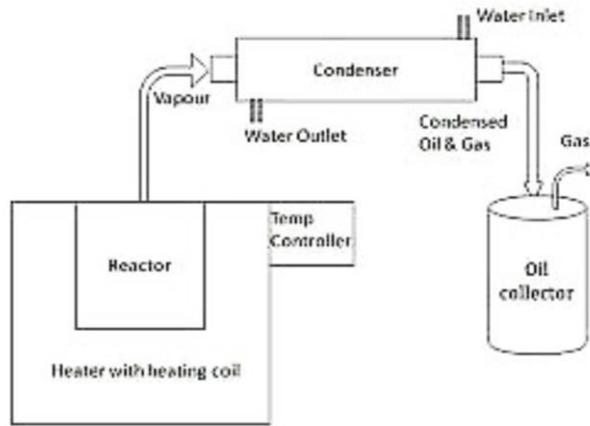
Pada pembuatan reaktor kimia harus memastikan bahwa reaksi menghasilkan efisiensi yang paling tinggi ke arah produk keluaran yang diinginkan, agar industri yang membuat reaktor dapat meminimalisir biaya operasional untuk memperoleh produk yang maksimal. Reaktor yang umumnya terdapat di industri adalah reaktor berpengaduk atau yang dikenal dengan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*).

2.4.1. Jenis-jenis Reaktor

Perancangan suatu reaktor kimia harus mengutamakan efisiensi kinerja reaktor, sehingga didapatkan hasil produk dibandingkan masukan (input) yang besar dengan biaya yang minimum, baik itu biaya modal maupun operasi. Tentu saja faktor keselamatan pun tidak boleh dikesampingkan. Biaya operasi biasanya termasuk besarnya energi yang akan diberikan atau diambil, harga bahan baku, dan upah operator, dan lain-lain. Perubahan energi dalam suatu reaktor kimia bisa karena adanya suatu pemanasan atau pendinginan, penambahan atau pengurangan tekanan, gaya gesekan (pengaduk dan cairan). Adapun jenis-jenis reaktor pirolisis adalah sebagai berikut:

1. *Fixed or Moving Bed*

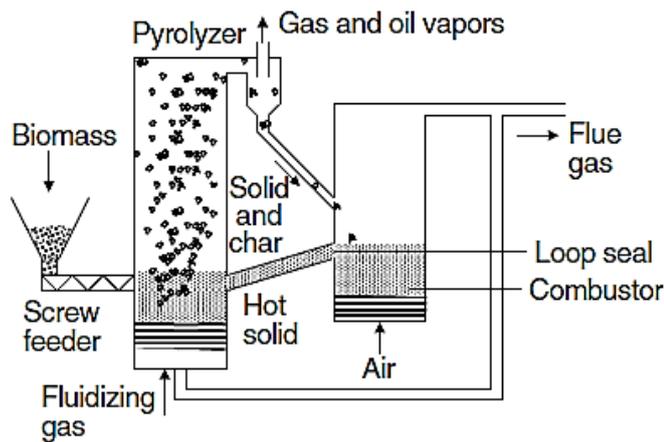
Fixed or moving bed yang beroperasi pada reaktor tetap, keuntungan menggunakan reaktor ini adalah sederhana, lebih murah, teknologi yang sudah terbukti (*proven*), dan dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat massa bahan uji, sehingga perlu dibersihkan sebelum menggunakan ke pengoperasian berikutnya seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Reaktor *fixed moving bed* (Sentilkumar, 2015)

2. *Bubbling Fluidized Bed*

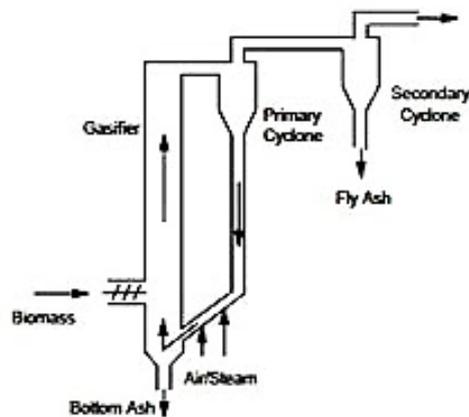
Reaktor yang bertipe *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor paling baik. Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara normal 1 (satu) atm dengan temperatur sedang 450°C, dan dapat menghasilkan *bio-oil* hingga 75% dari massa, tergantung dari biomassa yang digunakan sebagai sumber. Pada pirolisis ini menggunakan pasir silika sebagai fluidisasi karena pasir silika mempunyai titik lebur yang tinggi mencapai 1800°C maka sangat cocok untuk aplikasi gasifikasi *fluidized bed* seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Reaktor *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2010)

3. *Circulating Fluidized Bed*

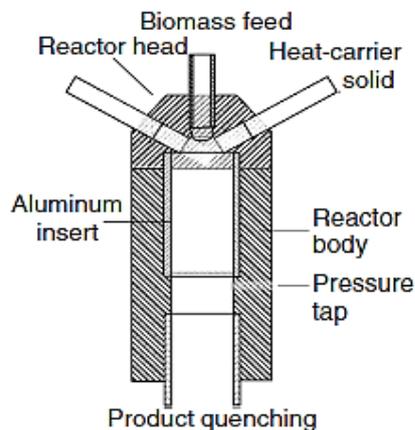
Circulating fluidized bed adalah reaktor dengan kerja seluruh padatan material terbawa aliran, selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah cocok untuk reaksi berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi, dan produksi tar yang rendah. Sedangkan kelemahan dari penggunaan reaktor jenis ini adalah terbentuknya *gradient* temperatur di arah aliran padatan, dan perpindahan panas tidak efisien seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reaktor *Circulating Fluidized Bed* (Sentilkumar, 2015)

4. *Ultra Rapid Pyrolyzer*

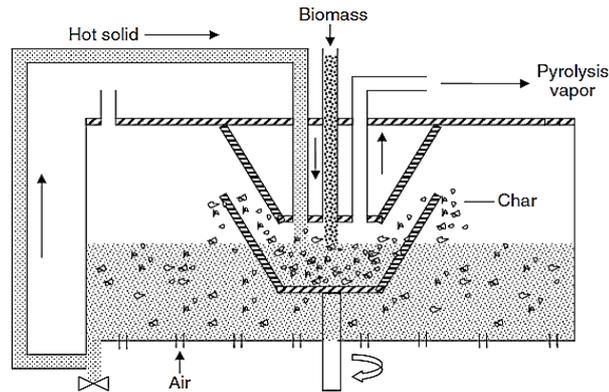
Ultra rapid pyrolyzer adalah reaktor dengan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C , maka akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan (Basu, 2010) seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Reaktor *Ultra Rapid Pyrolyze* (Basu, 2010)

5. *Rotating Cone*

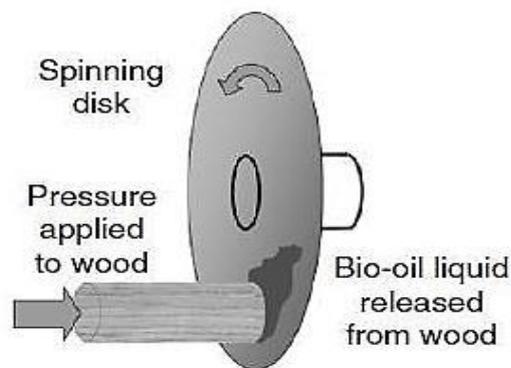
Rotating cone adalah reaktor yang menggunakan pasir silika sebagai media pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh yang diakibatkan oleh putaran dari wadah seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Reaktor *Rotating Cone* (Basu, 2010)

6. *Ablative Pyrolyzer*

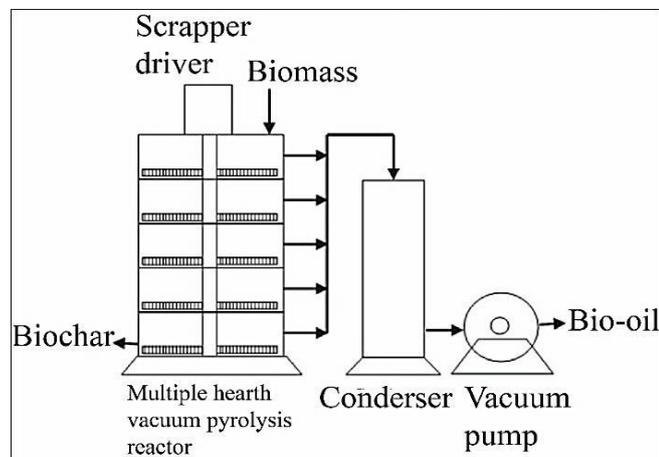
Ablative pyrolyzer adalah reaktor yang melibatkan tekanan tinggi antara partikel biomassa dan plat putar sebagai media pemanas. Hal ini memungkinkan perpindahan panas tanpa hambatan dari dinding ke biomassa yang menyebabkan produk cair dari biomassa meleleh keluar dari biomassa. Akibat dari transfer panas yang tinggi maka waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis akan lebih cepat dengan hasil produk gas yang sedikit dan hasil cairan sebanyak 80% seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Reaktor *Ablative Pyrolyzer* (Basu, 2010)

7. *Vacuum Pyrolyzer*

Vacuum pyrolyzer adalah reaktor yang terdiri dari beberapa tingkatan, tingkatan paling atas bersuhu 200°C dan tingkatan paling bawah bersuhu 400°C. Biomassa dimasukkan ke bagian atas dan akan mengalami pengeringan selama biomassa turun ke bawah sehingga menjadi arang. Pemanasan yang lambat akan meningkatkan jumlah arang dan menghasilkan cairan yang banyak, hal ini disebabkan karena reaktor yang tekanannya kurang dari 1 atm akan disedot oleh vacuum sehingga kalor dan cairan dipaksa keluar dari reaktor (Brown, 2015) seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Reaktor *Vacuum Pyrolyzer* (Basu, 2010)

2.4.2. Pemilihan Reaktor

Fixed bed reactor berbentuk tabung dan diisi dengan partikel katalis padat, paling sering digunakan untuk mengkatalisis reaksi gas. Reaksi kimia terjadi pada permukaan katalis. Keuntungan menggunakan *fixed bed reactor* adalah konversi yang lebih tinggi per berat katalis daripada reaktor katalitik lainnya. Konversi didasarkan pada jumlah katalis padat dan bukan volume reaktor (Jacobs. Dkk, 2003).

Masalah yang dapat timbul pada *fixed bed reactor* adalah terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) yang cukup besar di sepanjang reaktor dan terbentuknya *hotspot* dimana terjadi perbedaan yang cukup besar antara suhu katalis dengan suhu reaktor sehingga dapat memengaruhi kinerja reaktor. Meski demikian, konversi pada *fixed bed reactor* masih lebih besar

dibandingkan *fluidized bed reactor*. *Fixed bed reactor* semakin banyak digunakan dalam beberapa tahun terakhir untuk mensintesis zat berbahaya dan beracun. Sebagai contoh, reaktor ini digunakan untuk menghilangkan nitrogen oksida dari gas buang pembangkit listrik serta pemurnian gas buang dari knalpot. Terdapat dua jenis reaktor *fixed bed* yaitu *adiabatic fixed bed reactor* dan *multi-tubular fixed bed reactor* (Eigenberger, 1972).

1. *Adiabatic fixed-bed reactor*

Reaktor *adiabatic* ini hanya menggunakan satu jalur reaksi utama. Gas reaktan mengalir secara bersamaan di atas *adiabatic fixed-bed reactor*. Reaktor jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Adiabatic fixed-bed reactor* (Eigenberger, 1972)

2. *Multitubular fixed-bed reactor*

Reaktor *multitubular* digunakan khusus untuk pemisahan produk. Dalam reaktor *multitubular* gas mengalir mengikuti jalur pembawa panas untuk mengontrol suhu di sekitar katalis *adiabatic fixed-bed reactor*. Reaktor jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.10

2. *Hydro-cracking*

Reaksi *hydro-cracking* bertujuan mengubah umpan fraksi berat menjadi produk dengan berat molekul yang lebih ringan dengan disertai penghilangan sulfur dan nitrogen serta penjenuhan senyawa olefin dan aromatik. Sulfur organik diubah menjadi senyawa H₂S sedangkan senyawa nitrogen diubah menjadi NH₃ dan senyawa oksigen (tidak selalu ada) diubah menjadi H₂O (Pujado, 2006).

2.5. Proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik

Penelitian yang dilakukan oleh (Rodiansono dkk 2017) melakukan perengkahan sampah plastik jenis polipropilena dari kemasan air mineral dalam reaktor pirolisis terbuat dari *stainless steel*, dilakukan pada temperatur 475°C dengan dialiri gas nitrogen (100 ml/menit).

Semakin tinggi suhu pirolisis, nilai titik nyala yang diperoleh semakin menurun, namun masih mendekati standar mutu bahan bakar minyak. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya suhu pirolisis, maka semakin cepat pula api menyambar ketika disulut karena dipengaruhi oleh kandungan air dalam minyak. Menurut (Tjokrowisastro dkk (1990), semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin sedikit kandungan air dalam minyak tersebut sehingga api cepat menyambar dan titik nyala yang diperoleh semakin kecil.

Pada dasarnya, proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik dapat dikelompokkan menjadi:

1. Proses Pemesinan

Pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan, dalam pembuatan alat pirolisis sampah plastik digunakan beberapa mesin, salah satunya menggunakan mesin *bending*. Mesin ini digunakan sebagai alat untuk membuat / membengkokkan bentuk plat dan pipa yang digunakan sebagai reaktor dan pipa penyalur minyak hasil pembakaran sampah plastik.

Proses pemesinan pada penelitian ini melibatkan proses bending untuk membuat tabung reaktor menggunakan plat stainless steel aisi 304, proses pembengkokan terhadap benda kerja dengan menggunakan alat Bending baik itu yang masih dilakukan secara manual maupun yang sudah menggunakan mesin bending (Wibowo, L. A., & Agustian, A. 2021). Proses pembengkokan dapat diklasifikasikan menjadi pembengkokan secara panas (*hot bending*) dan pembengkokan secara dingin (*cool bending*) (Lestari, N., dkk. 2018).

Rumus yang digunakan untuk menentukan panjang plat yang akan di *rolling* membentuk lingkaran, yaitu :

$$\text{Diameter rata - rata} = \pi \times D \quad (2.1)$$

2. Proses Penyambungan

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue* (Wiryosumarto, 2000). Metode las MIG (*Metal Inert Gas*) dipilih mengingat material yang di pilih berupa *stainless steel* 304, dimana bahan ini memerlukan penanganan atau peralatan khusus dalam penyambungan.

Besar dari arus listrik yang dibutuhkan dapat ditentukan dari ukuran elektroda, tebal spesimen las, bentuk sambungan, serta lokasi penyambungan. Adapun kisaran arus yang dapat digunakan sesuai dengan diameter elektroda (AWS A5.4. 1992) seperti yang terlihat pada table 2.3.

Tabel 2.3 Hubungan diameter elektroda dengan arus pengelasan (AWS A5.4. 1992).

Electrode Diameter	Welding Current Amperes	Approximate Dimensions Of Deposit,in	
		W	L
1/13	35-50	0,25	1-1/4
5/64	45-60	0,25	1-1/4
3/32	65-90	0,3	1-1/2
1/8	90-120	0,4	1-1/2
5/32	120-150	0,5	1-1/2
3/16	160-200	0,6	1-1/2
7/32	200-240	0,7	1-1/2
1/4	240-280	0,7	1-1/2

3. Proses Gerinda

Mesin gerinda (*grinding machines*) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk proses pemotongan logam secara *abrasive* melalui gesekan antara material *abrasive* dengan benda kerja/ logam. Selain untuk memotong logam/ benda kerja sesuai ukuran, proses gerinda ini juga untuk finishing (memperhalus dan membuat ukuran yang akurat pada permukaan benda kerja) (Amstead, 1992). Metode penggerindaan dilakukan untuk membersihkan permukaan *stainless steel* hasil pengelasan yang dilakukan pada saat penyambungan menggunakan las. Batu gerinda yang dipasang pada poros utama berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan periferal batu gerinda dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Rochim, 1993) :

$$v_s = \frac{\pi \times d \times n}{6000} (m/s) \quad (2.2)$$

4. Proses Pengeboran

Mengebor (*boring*) adalah pekerjaan memperbesar diameter pada benda, pekerjaan dilakukan dengan menggunakan mesin bor dengan mata bor sebagai pisau penyayatnya. Proses *boring* selain digunakan untuk mengebor pada mesin bor juga bisa digunakan untuk memperhalus suatu lubang. Peluasan lubang yang dipakai pada proses *boring* biasanya disebut dengan *reamer* (Daryanto, 2006). Rumus untuk menghitung kecepatan putar bor yaitu :

$$n = \frac{v}{\pi \times D} \quad (2.3)$$

2.5.1. Komponen alat pirolisis sampah plastik

Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Reaksi pirolisis akan menghasilkan produk berupa padatan, cairan dan gas (Awaluddin, 2007). Pirolisis memiliki tujuan untuk melepaskan *volatile matter* yang terkandung pada biomassa cukup tinggi. Bahan yang dapat dikonversi secara pirolisa adalah bahan yang mempunyai kandungan selulosa tinggi. Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa, sabut, serta cangkang sawit menyebabkan senyawa karbon kompleks

tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida dan peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis.

2.5.2. Pembuatan tangki

Tangki merupakan salah satu bagian terpenting dalam setiap alat proses. Pada sebagian besar alat proses, tangki dirancang dengan beberapa modifikasi sesuai keperluan yang memungkinkan alat beroperasi pada fungsi yang dikehendaki. Biasanya tahap awal dari perancangan tangki adalah pemilihan tipe/bentuk yang paling sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Faktor terpenting yang sesuai yang mempengaruhi pemilihan ini adalah :

1. Fungsi dan lokasi tangki
2. Sifat alamiah dari fluida yang akan digunakan
3. Suhu dan tekanan operasi
4. Volume yang dibutuhkan atau kapasitas untuk proses yang akan digunakan.

Secara umum tangki dapat di golongan kedalam beberapa jenis,yaitu adalah:

1. Tangki bentuk vertikal (*vertical tank*)
2. Tangki bentuk horizontal (*horizontal tank*)
3. Tangki berbentuk bola (*hemispherical tank*)



Vertical Tank

Horizontal Tank

Hemispherical Tank

Gambar 2.12 Jenis-Jenis Tangki Setiawan. P. H., 2013.

Dalam perancangan ini, tangki yang digunakan adalah tangki vertikal berbentuk silinder. Pemilihan ini didasarkan pada tekanan yang diperlukan hingga 5 atm dan proses membutuhkan suhu yang tinggi. Dalam hal ini tangki berfungsi

sebagai reaktor pirolisis untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.

2.5.3. Penutup (*head*)

Head merupakan bagian tangki yang berfungsi sebagai penutup silinder (*shell*), baik bagian atas tangki (*head*) maupun bagian bawah tangki (*bottom*). Pada umumnya jenis penutup silinder dibagi menurut bentuk geometrisnya dan yang paling sering digunakan adalah bentuk (Setiawan. P. H., 2013).

1. Tipe *Flat Flanged*

Head jenis ini adalah yang paling ekonomis dalam pembuatannya, karena hanya membentuk flange dengan radius pada plat datar. Penggunaannya yang paling banyak adalah pada tangki bertekanan atmosferis. Head ini juga dapat digunakan sebagai dasar dari tangki silinder vertikal dengan diameter maksimal 20 ft. Head jenis ini diukur dengan basis diameter luar dan tersedia untuk ukuran 12-42 in dengan selisih 2 in, 42 -144 in dengan selisih 6 in, 144 - 240 in dengan selisih 12 in, juga tersedia untuk ukuran lebih dari 246 in (Suratno, 2009).

2. Tipe *Sphere* dan *Hemisphere*

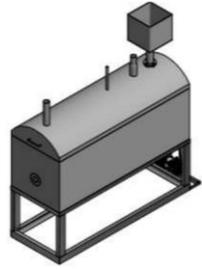
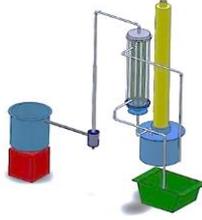
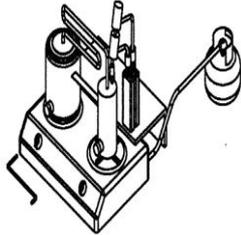
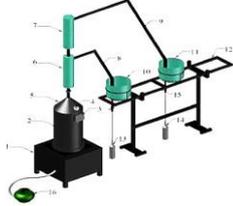
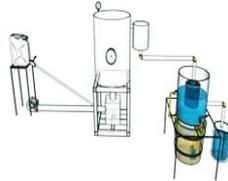
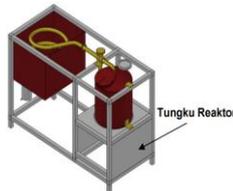
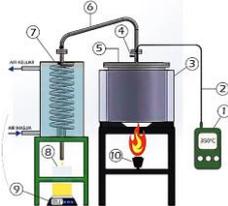
Untuk ketebalan yang sama, Head ini merupakan yang paling kuat. *Head* ini dapat menahan tekanan hingga 2 kali lipat dari elliptical *head* ataupun shell silinder dengan tebal dan diameter yang sama. Tetapi harga pembuatan dan biaya lain-lain dari head ini paling besar dibandingkan dengan yang lain. Ketersediaan head ini juga terbatas dalam ukurannya, karena pembuatan dari plat tunggal lebih sulit (Suratno, 2009).

3. Tipe *Ellipsoidal*

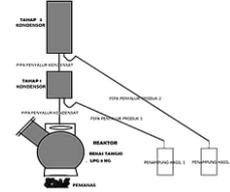
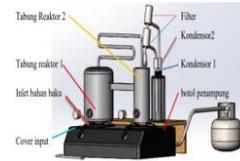
Head ini digunakan untuk tangki bertekanan antara 100 psig hingga lebih dari 200 psig. Jika rasio sumbu mayor : sumbu minor = 2:1 maka kekuatan head akan sama dengan kekuatan shell silinder dengan diameter dalam dan luar yang sama. Kedalaman bagian dalam dari lengkungan sama dengan setengah dari sumbu minor atau sama dengan 1/4 diameter dalam dari *head* (Suratno, 2009).

2.6. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 pembeda dengan alat pirolisis yang sejenis

No.	Nama Penulis	Judul	Alat Yang Dibuat
1	Maulana, E., Fajri, B. N., & Mahardika, D.	Perancangan Proses Pembuatan Reaktor Pirolisis Model Horizontal Kapasitas 75 Kg/Jam.	
2	Pani, R. S., Sukarjo, H., & Purwono, Y. S.	Pembuatan Biofuel dengan proses pirolisis berbahan baku plastik Low Density Polyethylene (LDPE) pada suhu 250°C dan 300°C.	
3	Situmorang, R.	Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda.	
4	Guswira, N. P., Hamdy, M. I., & Hartati, M.	Perancangan Alat Destilasi Untuk Mengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Prospektif Melalui Proses Pirolisis Bertingkat.	
5	Saputra, R. B., Aziz, A., Anwar, S., & Hidayath, N.	Rancang bangun dan pengujian alat pengubah sampah plastik menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM).	
6	Batutah, M. A., & Vianto, Y. N.	Redesain Alat Pirolisis Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair.	
7	Imron, M. A.	Skripsi Proses Pirolisis Sampah Plastik Ldpe Dan Pp Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Katalis Alam	

- 8 Harto, M. N. A. Rancangan Perangkat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Minyak Dengan Reaktor Ganda.
- 9 Wahyudi, J., Prayitno, H. T., & Astuti, A. D. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif.
- 10 Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak



Berdasarkan tabel diatas ditunjukkan pembeda atau keterbaruan dari alat penyuling limbah plastik yang dibuat.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

A. Tempat

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

B. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai di nyatakan selesai.

Tabel 3.1 Rencana Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur		■				
3	Pembuatan Alat			■			
4	Tempat Bengkel Sutomo				■		
5	Pengujian Keberhasilan Alat					■	
6	Penyelesaian Penulisan Tugas Akhir						■
7	Seminar Hasil						■

3.2. Bahan dan alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. Bahan

1. Plastik PP (*Polypropylen*)

Plastik PP (*Polypropylen*) digunakan sebagai bahan baku yang akan menghasilkan minyak hasil pirolisis sampah plastik, plastik jenis ini memiliki titik lebur pada temperatur 160°C (320°F) dan terdekomposisi pada suhu 330°C, bahan plastik jenis ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Jenis Plastik PP

2. Plastik PET (*Plyethylane Terephthalate*)

Plastik PET (*Plyethylane Terephthalate*) digunakan sebagai bahan baku yang akan menghasilkan minyak hasil pirolisis sampah plastik, plastik jenis ini memiliki titik lebur pada suhu 250°C - 260°C dan terdekomposisi pada suhu 480°C, bahan plastik jenis ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Jenis Plastik PET

3. Plat Stainless Steel 304

Berfungsi sebagai bahan yang digunakan dalam pembuatan tabung reaktor alat pirolisis sampah plastik seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Plat stainless steel 304

3.2.2. Alat

1. Kunci 30 dan ring pas

Berfungsi sebagai alat untuk membuka atau mengencangkan sebuah baut yang di gunakan seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Kunci 30 dan Ring Pas

2. Baut kepala nepel model corong

Berfungsi sebagai baut penyambung tabung kondensor ke tabung reaktor, seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Baut kepala nepel model corong

3. Baut nepel

Berfungsi sebagai penyambung baut nepel corong, seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Baut nepel

4. Mesin gerinda tangan

Berfungsi sebagai alat pemotong atau mengasah ataupun menggerus benda kerja dengan tujuan atau kebutuhan tertentu, seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Mesin gerinda tangan

5. Bor Tangan

Bor tangan digunakan sebagai alat untuk melubangi plat, seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Bor tangan

6. Meteran

Berfungsi sebagai alat untuk mengukur panjang bahan yang akan di gunakan, seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Meteran

7. Sarung tangan

Berfungsi sebagai alat pelindung diri agar menghindari dari hal-hal yang tidak diinginkan, seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Sarung tangan

8. Mesin las TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Mesin las TIG digunakan untuk melakukan pengelasan pada logam yang reaktif terhadap gas oksigen, seperti magnesium, titanium, aluminium dan stainless steel. Las TIG juga sering digunakan pada plat yang tipis dengan ketebalan sampai dengan 5 mm. Mesin las ini seperti yang terlihat pada gambar 3.11. berikut dengan spesifikasi.



<i>power voltage</i>	AC 220v /15%
<i>frequency</i>	50/60 Hz
<i>rated input current</i>	26 A
<i>no - load voltage</i>	70 V
<i>output current</i>	8 - 250 V
<i>duty cycle</i>	60%
<i>no load loss</i>	40 W
<i>efficiency</i>	>_80
<i>power factor</i>	>_0,7
<i>insulation grade</i>	F

Gambar 3.11. Mesin Las TIG

9. Gunting plat

Berfungsi sebagai alat untuk memotong plat, seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Gunting plat

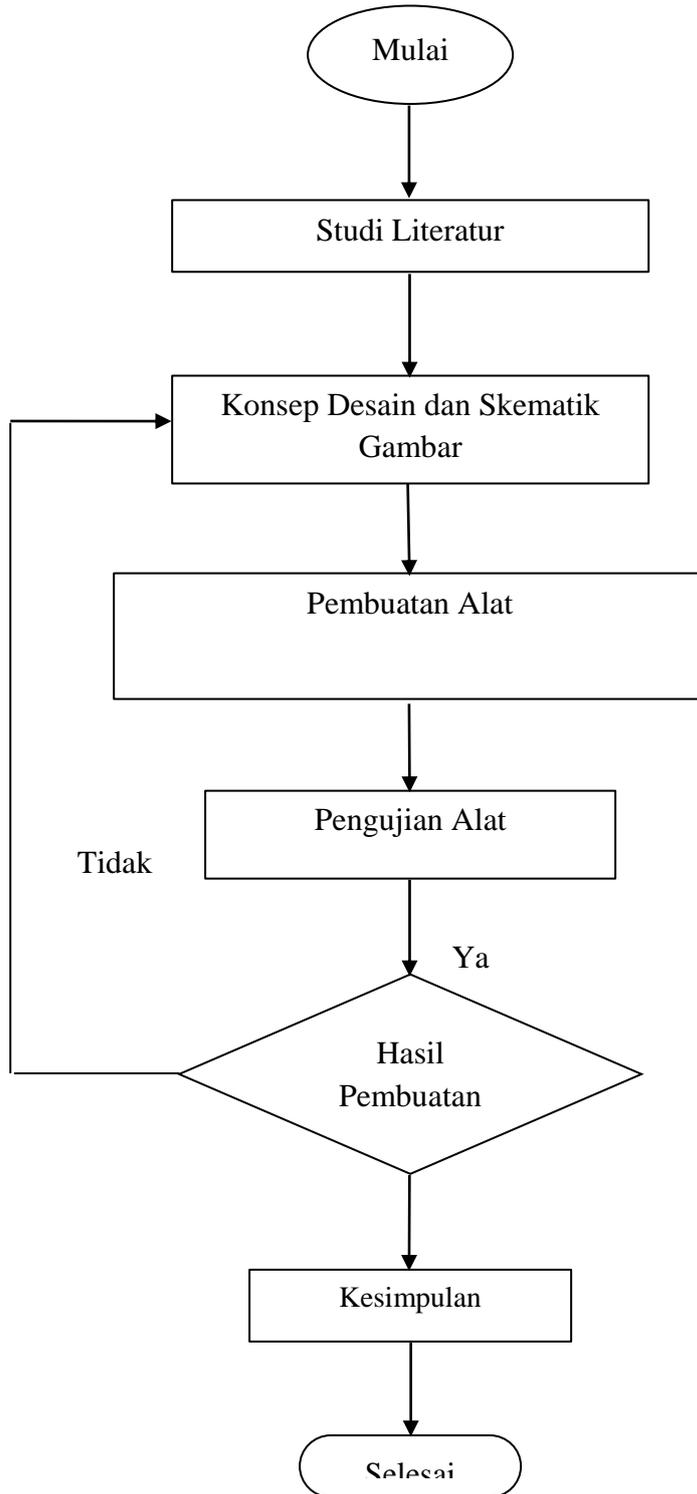
10. Kompor gas

Berfungsi sebagai alat untuk pemanasdi peralatan dapur atau bahan yang akan panaskan, seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 3.13. Kompor gas

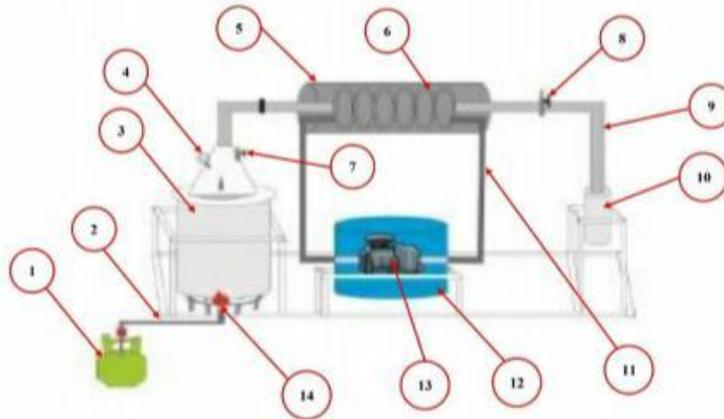
3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.14 Bagan Alir Penelitian

3.4. Rancangan Alat Penelitian

Perancangan alat disesuaikan dengan fungsi, karakteristik dan lingkungan dimana proses berlangsung. Alat pengolah sampah plastik ini terdiri dari reaktor utama yang terbuat dari plat besi berbentuk persegi panjang, kondensat sebagai pendingin uap, kompor gas sebagai alat pembakaran tempat penampungan sebagai penampung minyak hasil pirolisis.



Gambar 3.15 Rancangan Sistem Reaktor Pirolisis

Keterangan gambar :

1. Tabung gas LPG digunakan sebagai bahan bakar
2. Selang gas digunakan untuk menyalurkan gas
3. Reaktor digunakan sebagai tempat pembakaran sampah plastik
4. *Thermocouple* digunakan sebagai alat pengukur suhu ruang bakar
5. Kondensor sebagai tempat kondensasi gas menjadi minyak
6. Pipa spiral sebagai penyalur gas dari reaktor menuju kondensor
7. *Pressure gauge* alat pengukur tekanan gas
8. Katup / valve mengatur laju aliran minyak
9. Pipa penghubung mengantarkan minyak menuju penampung
10. Penampung minyak digunakan sebagai wadah penampung
11. Selang air digunakan untuk mengalirkan air menuju kondensor
12. Bak penampung air digunakan sebagai wadah air
13. Pompa air digunakan untuk mengantarkan air ke kondensor
14. Burner digunakan sebagai alat pembakar reaktor
15. Rangka sebagai landasan untuk menaruh seluruh kompon

1. Tabung Reaktor

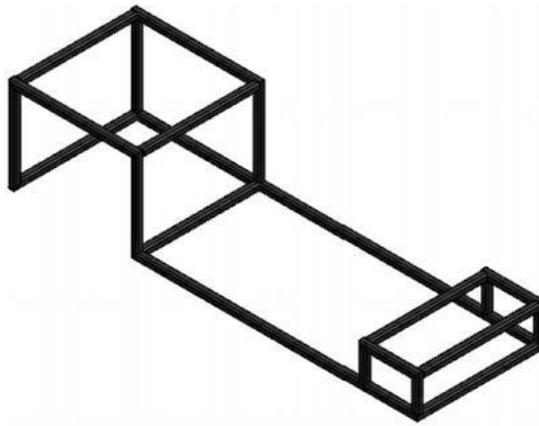
Tabung reaktor yang di rancang menggunakan plat stainless steel tipe 304 dengan ketebalan plat 2 mm, berdiameter 300 mm dengan tinggi 250 mm. rancangan tabung reaktor memiliki kapasitas produksi 3 kg. Perencanaan tabung reaktor berkapasitas 3 kg diharapkan mampu menghasilkan bahan bakar sebanyak 280,02 ml atau setara dengan 0,280 liter. Tabung reaktor berfungsi sebagai tempat penampungan material uji yang akan dipirolisis. Tutup tabung berfungsi sebagai tutup yang memungkinkan tidak terjadinya pertukaran udara didalam tabung. Material *stainless steel* tahan terhadap temperatur tinggi pada temperatur 260°C – 1200°C, sehingga material ini dipilih sebagai bahan dalam pembuatan tabung reaktor mengacu pada ketahanan material ini terhadap temperatur yang tinggi seperti yang terlihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.16 Tabung Reaktor

2. Rangka

Perancangan rangka merupakan salah satu hal yang penting dalam proses perancangan secara keseluruhan, karena rangka merupakan landasan utama dalam menaruh seluruh komponen mesin rangka yang dirancang menggunakan hollow dengan ukuran 20 x 20 x 2 mm. Hal yang pertama dalam melakukan perancangan rangka adalah menentukan desain konstruksi dari rangka tersebut seperti yang terlihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 Rangka

3.5. Prosedur Pembuatan

Adapun prosedur pembuatan alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan ukuran fixed bed reactor yang digunakan sebagai alat untuk mengkonversi limbah plastik menjadi minyak menggunakan material plat stainless steel 304 berdiameter 300 mm dengan tinggi 250 mm.
2. Membuat bentuk tabung atau silinder dari bahan plat stainless steel dengan menggunakan metode roll. Pengerollan dilakukan dengan metode persection rolling yaitu dengan cara diroll ujung plat depan terlebih dahulu lalu ke ujung plat bagian belakang kemudian dilanjutkan pengerollan secara menyeluruh sehingga membentuk lingkaran sesuai target
3. Plat *stainless steel* yang berbentuk silinder kemudian di las menggunakan metode pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) metode ini dipilih karena tidak merubah atau merusak material stainless steel.
4. Pipa saluran yang mengalirkan minyak melalui reaktor menuju kondensor direncanakan menggunakan double nipple sebagai alat penyambungan antara reaktor dengan pipa saluran dan memudahkan perawatan pipa saluran
5. Pembuatan kondensor berdasarkan fungsi dan kegunaannya menggunakan kondensor tabung dengan alur pipa spiral yang berada di dalam kondensor sebagai laju pendinginan minyak..
6. Membuat rangka sebagai wadah seluruh komponen alat menggunakan

material hollow dengan ukuran 20 mm x 20 mm dengan ketebalan 2 mm. Ukuran rangka yang di buat menyesuaikan ukuran rancangan yang telah di rencanakan.

7. Seluruh pembuatan komponen pirolisis menggunakan metode pengelasan menggunakan las TIG (*Tungsten Inert Gas*).
8. Selesai.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pembuatan Pirolisis Sampah Plastik

Hasil pembuatan alat penyuling limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan plastik PP (*polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak berkapasitas 3 kg berdasarkan desain seperti yang terlihat pada gambar 4.1.

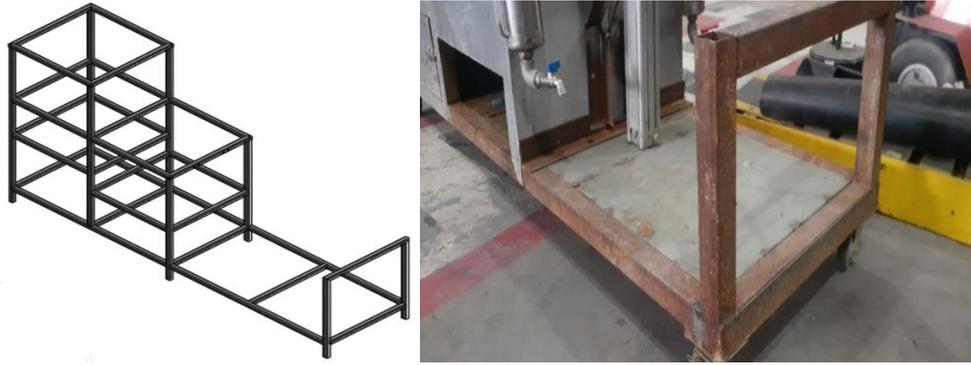


Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik

Dalam pembuatan alat pirolisis sampah plastik berkapasitas 3 kg dibutuhkan beberapa hal, yaitu :

4.1.1. Hasil Pembuatan Rangka

Proses pembuatan rangka utama alat pirolisis sampah plastik berdasarkan desain dilakukan dengan cara pemilihan material rangka yang menggunakan baja hollow dengan ukuran 30 x 30 mm. Metode penyambungan rangka dilakukan menggunakan metode pengelasan SMAW menggunakan elektroda $\varnothing 2,6$ mm dengan besar arus las 75 ampere dengan pengelasan yang dilakukan pada setiap sudut dan sambungan rangka seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Pembuatan Rangka

4.1.2. Hasil Pembuatan Tabung Reaktor

Tabung reaktor dibuat menggunakan material plat *stainless steel* AISI 304 dengan ketebalan 3 mm, tabung reaktor berfungsi sebagai tabung utama dalam pembakaran sampah plastik dengan suhu 370°C. Tabung ini juga dilengkapi dengan thermometer bimetal dengan pengukuran maksimal hingga 500°C. Plat *stainless steel* dipilih karena mampu menahan temperatur pemanasan yang tinggi, pembuatan tabung ini menggunakan 2 metode yaitu, metode roll guna membuat lengkungan pada plat *stainless steel* dan metode pengelasan guna menyambung plat *stainless steel* seperti yang terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pembuatan Tabung Reaktor

4.1.3. Hasil Pembuatan Kondensor

Pembuatan kondensor pada alat pirolisis sampah plastik berdasarkan perancangan yang telah dibuat. Kondensor yang dibuat memiliki pipa berukuran 0,5 *inchi* sebagai alat pengalir minyak dan gas hasil pembakaran pada tabung reaktor dengan tipe penukar kalor arah berlawanan. Kondensor yang dibuat menggunakan material pipa stainless steel berukuran diameter 50 mm dengan ketebalan pipa 3 mm seperti yang terlihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil Pembuatan Kondensor

4.1.4. Pembuatan Tabung Penyimpanan Bahan Bakar

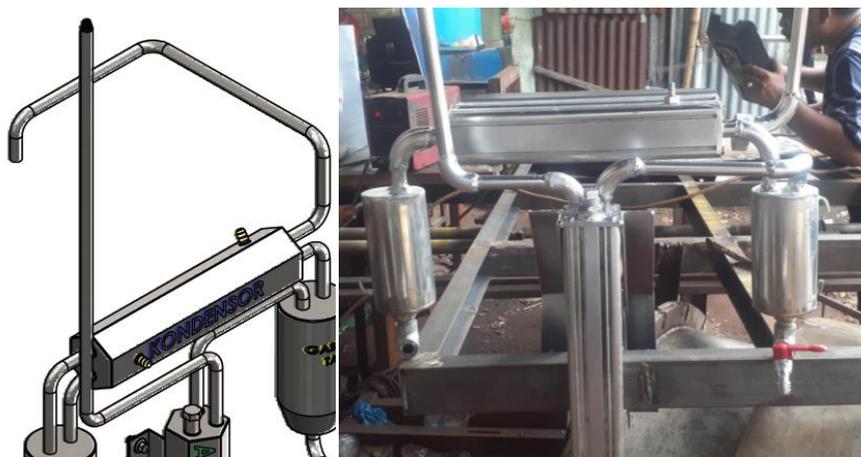
Pembuatan tabung penyimpanan bahan bakar hasil pembakaran sampah plastik pada reaktor dibuat berdasarkan perancangan dan perhitungan laju aliran minyak dalam pipa. Tabung penyimpanan bahan bakar dibuat menggunakan material plat stainless steel dengan ketebalan plat 1 mm berbentuk silinder dengan metode penyambungan menggunakan las, tabung penyimpanan bahan bakar di buat dengan 2 fungsi yaitu menyimpan bensin dan solar hasil pembakaran minyak mentah (*crude oil*) berdasarkan suhu dari masing-masing pembakaran untuk mendapatkan bensin pembakaran dilakukan pada suhu 50 - 85°C dan untuk mendapatkan solar pembakaran dilakukan pada suhu 105 - 135 °C, bensin akan di tampung pada tabung pertama berwarna kuning dan solar akan di tampung pada tabung kedua berwarna cokelat. Adapun bentuk dari hasil pembuatan tabung penyimpanan bahan bakar hasil pirolisis seperti yang terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Pembuatan Tabung Penyimpan Bahan Bakar

4.1.5. Hasil Pembuatan Jalur Pipa

Pembuatan jalur pipa didasari oleh perancangan dengan perhitungan dan analisis menggunakan *software solidworks* menggunakan pipa stainless steel berdiameter 0,5 *inchi* dan ketebalan pipa 2 mm dengan sistem kerja saat pembakaran didalam tabung reaktor 1, uap panas akan mengalir melalui pipa menuju kondensor untuk merubah uap menjadi cair sehingga menjadi minyak mentah (*crude oil*) yang akan di tampung pada reaktor 2, adapun hasil pembuatan jalur pipa seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Pembuatan Jalur Pipa

4.1.6. Hasil Pembuatan Tabung Anti *Fire Back*

Komponen ini dibuat menggunakan plat stainless steel dengan bentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 280 mm, lebar 70 mm dan

ketebalan 2 mm, komponen ini dibuat untuk menyaring gas metane yang dihasilkan oleh pembakaran sampah plastik yang terjadi pada reaktor 1, bentuk komponen ini seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Pembuatan Tabung Anti *Fire Back*

4.2. Pembahasan

Pembuatan pembuatan komponen dan bagian alat penyuling limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan plastik PP (*polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak berkapasitas 3 kg dilakukan dengan beberapa tahap yaitu :

1. Proses Pemotongan Besi *Hollow*

Proses pemotongan besi *hollow* berukuran 40 x 40 mm dengan pemotongan panjang 38 cm sebanyak 22 potong, panjang 158 cm sebanyak 2 potong, panjang 33 cm sebanyak 2 potong, panjang 41 cm sebanyak 2 potong, dan panjang 81 cm sebanyak 2 potong sebagai bahan pembuatan rangka seperti yang terlihat pada gambar 4.8.

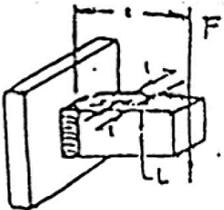
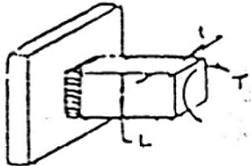
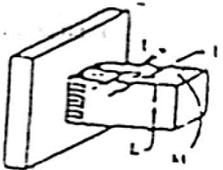
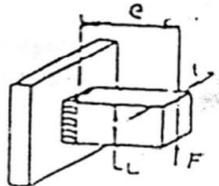
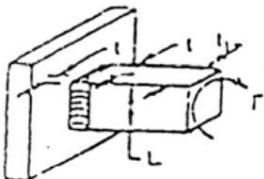


Gambar 4.8 Proses Pemotongan Besi *Hollow*

2. Proses Pengelasan Rangka

Proses pengelasan rangka yang dilakukan merujuk pada standar BS EN 10025-1:2004, standar ini memberikan perhitungan perkiraan tegangan seperti yang terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 *weld subject to direct and bending stresses* (BS EN 10025-1:2004).

Metode Sambungan Las	Rumus
	$\sigma_t = \frac{6F \times e}{t \times L^2}$ $\tau_g = \frac{F}{t \times L}$
	$\tau_g = \frac{T(3L + 1,8t)}{t^2 \times L^2}$
	$\sigma_t = \frac{6F \times e}{t \times L^2}$
	$\sigma_t = \frac{F \times e}{t \times L^2}$ $\tau_g = \frac{F}{2 \times t \times L^2}$
	$\tau_g = \frac{T}{2 \times (t_1 - t) \times (L - t) \times t}$

Berdasarkan rumus yang tertera pada tabel diatas maka pengelasan rangka dilakukan menggunakan mesin las SMAW (*shield metal arc welding*) dengan ukuran diameter kawat las 2,6 mm proses pengelasan rangka yang di lakukan pada setiap sudut dan sambungan rangka dengan besaran arus las 75 ampere seperti yang terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Proses Pengelasan Rangka

3. Pembengkokan Pipa

Proses pembengkokan pipa ini berfungsi untuk selang penghubung antara tabung reaktor besar dan Tabung reaktor kecil seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Proses Pembengkokan Selang Penghubung

4. Pemotongan Plat

Proses pemotongan plat yang akan digunakan sebagai tabung reaktor dengan pemotongan panjang plat 94,2 cm dan lebar plat 43,6 cm proses pemotongan plat seperti yang terlihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pemotongan Plat Untuk Tabung Reaktor

5. Pengerollan Plat Reaktor

Proses pembuatan reaktor menggunakan alat *roll* manual dengan cara memasukkan plat pada mesin *roll*, lalu dilakukan pengerolan secara manual hingga plat membentuk silinder menggunakan mesin *roll* hingga membentuk silinder dengan diameter 280 mm seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Membentuk Plat Besi Menggunakan Mesin *Roll*

6. Proses Pengelasan Jalur Pipa

Proses pengelasan pipa penghubung dari reaktor pertama menuju tabung reaktor kedua berfungsi sebagai alat penyalur sirkulasi minyak hasil

pembakaran pada tabung reaktor, proses pengelasan pipa seperti yang terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Proses pembengkokan selang penghubung

7. Proses pengelasan tabung kondensor

Proses pengelasan tabung kondensor berfungsi sebagai alat untuk pengaliran minyak ke kondensor setelah di panaskan di tabung reaktor kecil dengan menggunakan, seperti yang terlihat paada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Proses Pengelasan Tabung Kondensor

8. Proses Perakitan *Cover* Rangka

Perakitan *cover* rangka alat pirolisis sampah plastik menggunakan bahan plat besi, dengan ketebalan 1,5 mm dan penyambungan menggunakan paku *rivet* berukuran 5 mm seperti yang terlihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Proses Perakitan *Cover* Rangka

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan alat penyuling limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil pembuatan diperoleh spesifikasi alat penyuling limbah plastik sebagai berikut :
 - Dimensi Tabung : Ø 300 mm T = 527 mm t = 3 mm
 - Dimensi Rangka : P = 158 mm L = 38 cm T = 81 mm
 - Kapasitas Pengolahan : 3 Kg
 - Material Tangki : *Stainless Steel*
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap alat penyuling limbah plastik untuk dapat melelehkan plastik hingga menjadi minyak dibutuhkan waktu selama 4 – 5 jam pembakaran.
3. Keberhasilan alat penyuling limbah plastik ditentukan oleh kemampuan alat dalam menghasilkan minyak dari hasil pembakaran limbah plastik sebanyak 3 kg mampu menghasilkan minyak dari pengolahan plastik jenis PET sebanyak 0,7 liter yang dilakukan proses pembakaran selama 4 – 5 jam. Sedangkan pengolahan limbah plastik jenis PP mampu menghasilkan minyak sebanyak 1,2 liter yang dilakukan pembakaran selama 5 – 6 jam.
4. Temperatur tertinggi yang mampu dicapai oleh reaktor sebesar 470°C.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada alat penyuling limbah plastik ada beberapa saran yang ingin penulis sampaikan guna meningkatkan dan mengembangkan alat ini guna penelitian yang akan dilakukan di masa yang akan datang sebagai berikut :

1. Memanfaatkan beberapa peralatan pendukung seperti peralatan elektronik maupun sensor guna menunjang tingkat keberhasilan alat.
2. Meningkatkan kapasitas produksi pengolahan limbah plastik guna mempercepat pembersihan lingkungan dari sampah-sampah plastik yang sulit diuraikan oleh tanah.
3. Metode penyambungan logam sebaiknya menggunakan peralatan las yang sesuai dengan kebutuhan pengelasan untuk menghindari kerusakan pada material yang di las.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, J., Serrano, D.P., San Miguel, G., Castro, M.C., Madrid, S., 2007. Feedstock recycling of polyethylene in a two-step thermo-catalytic reaction system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79, 415- 423.
- Alshehrei, F. 2017. Biodegradation of synthetic and natural plastic by microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 5(1), 8-19.
- AWS A5.4. 1992. Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami: American Welding Society Inc.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press. Elsevier.
- Batutah, M. A., & Vianto, Y. N. 2024. Redesain Alat Pirolisis Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair. *Rekayasa Sistem Energi dan Manufaktur (ReSEM)*, 2(1), 1-10.
- Ciolkosz, Daniel. 2011. *A Review of Torrefaction For Bioenergy Feedstock Production*. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons. Ltd.
- Damanhuri, E., 2009. "Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun" 5 :164-168
- Demirbas, A., et all. 2009. *Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials*. Energy Sources, Part A, V. 31, P, 1186–119.
- Eigenberger, Gerhart. 1972. On the Dynamic Behavior of the Catalytic Fixed-Bed Reactor in the Region of Multiple Steady States – II. Stuttgart: Universitiit Stuttgart
- Fadhlorrohan, F., Umurani, K., Affandi, A., Nurdin, H., & Nasution, A. R. 2022. Pengaruh Suhu Cetakan Terhadap Produk Plastik Berbahan Polypropylen (PP) Pada Injection Molding. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 5(1), 39-45.
- Guswira, N. P., Hamdy, M. I., & Hartati, M. 2024. Perancangan Alat Destilasi Untuk Mengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Prospektif Melalui Proses Pirolisis Bertingkat. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 6(1), 9-18.
- Harto, M. N. A. 2023. Rancangan Perangkat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Minyak Dengan Reaktor Ganda. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 3(6), 375-384.
- Hilola, R., dan Lalu, N. 2017. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Penyulingan Sederhana Menjadi Minyak Mentah di Desa Dambalo*

Kecamatan Tomilito Kabupaten Gorontalo Utara. Laporan Akhir KKS Pengabdian. Gorontalo : LPPM Universitas Negeri Gorontalo.

- Hudlicky, M. 1996. *Reductions in organic chemistry*. American Chemical Society.
- Imron, M. A. 2022. Skripsi Proses Pirolisis Sampah Plastik Ldpe Dan Pp Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Katalis Alam.
- Jacobs, G., Chaudhari, K., Sparks, D., Zhang, Y., Shi, B., Spicer, R., ... & Davis, B. H. 2003. Fischer–Tropsch synthesis: supercritical conversion using a Co/Al₂O₃ catalyst in a fixed bed reactor. *Fuel*, 82(10), 1251-1260.
- Jones, D. S., & Pujadó, P. P. Eds. 2006. *Handbook of petroleum processing*. Springer Science & Business Media.
- Karlsson, Josefine. 2013. *Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn, Gotland. Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden.*
- Kumar S, Panda AK, Singh RK. 2011. A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel. *Resources. Conservation and Recycling Vol. 55* 893– 910
- Lestari, N., Kurniawan, S. D., & Yudhanto, B. 2018. Tube Bending Machine for Home Industry Scale. In *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta* (Vol. 4, pp. 81-84).
- Luo, Siyi. 2010. *Influence of Particle Size on Pyrolysis and Gasification Performance of Municipal Solid Waste in A Fixed Bed Reactor. Bioresource Technology*, V. 101, P. 6517–6520.
- Maulana, E., Fajri, B. N., & Mahardika, D. 2020. Perancangan Proses Pembuatan Reaktor Pirolisis Model Horizontal Kapasitas 75 Kg/Jam. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ* (Vol. 2020).
- Nurzaelani, M. M. 2020. Pembuatan Alat Penyulingan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Di Desa Sukaraksa. *Abdi Dosen: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(2), 191-197.
- Obeid, F., Zeaier, J., Al-Muhtaseb, A.H., dan Bouhadir, K. 2014. Thermo-Catalytic Pyrolysis of Waste Polyethylene Bottles in A Packed Bed Reactor with Different Bed Materials and Catalysts. *Energy Conversion and Management*.
- Ohliger, Andreas. 2012. *Torrefaction of beechwood: A Parametric Study Including Heat of Reaction and Grindability. Fuel Journal*

- Panda, A.K., 2011, Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela
- Pani, R. S., Sukarjo, H., & Purwono, Y. S. 2017. Pembuatan Biofuel dengan proses pirolisis berbahan baku plastik Low Density Polyethylene (LDPE) pada suhu 250 C dan 300 C. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(1), 32-38.
- Ratnasari, F. 2011. Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit dengan Teknik Pirolisis untuk Produksi *Bio Oil*. Semchar/residu : Universitas Diponegoro.
- Riandis, J. A., Setyawati, A. R., & Sanjaya, A. S. 2021. Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Chemurgy*, 5(1), 8-14.
- Rochim, T. 1993. Teori dan teknologi proses pemesinan. *Institut Teknologi Bandung*.
- Saputra, R. B., Aziz, A., Anwar, S., & Hidayath, N. 2020. Rancang Bangun Dan Pengujian Alat Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM). *Baut dan Manufaktur*, 2(02), 57-65.
- Senthilkumar, M. 2015. *Phytochemical Screening of Bioactive Compounds from Pleurotus ostreatus (JACQ.FR) KUMM., -an Wild Edible Mushroom. World Jurnal of Pharmaceutical Research*, 4(5), 1603–1618.
- Situmorang, R. 2020. Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda.
- Sridhar, G. 2007. *Torrefaction of Bamboo. European Biomass Conference & Exhibition. Berlin Germany*.
- Sukadi, S., & Novarini, N. 2019. Rancang Bangun Alat Pirolisis Untuk Daur Ulang Sampah Kantong Plastik. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 5(2), 96-102.
- Sumarni , 2008., "Kinetika reaksi pirolisis plastik low density polyethylene," 15: 135-137
- Syamsiro, M., W. Hu, S. Komoto, S. Cheng, P. Noviasri, P. Prawisudha, K. Yoshikawa, 2013. Co-production of liquid and gaseous fuels from polyethylene and polystyrene in a continuous sequential pyrolysis and catalytic reforming system, *Energy and Environment Research*, Vol. 3 No. 2: 90-106.
- Tumuluru, J.S. 2011. *Review on Biomass Torrefaction Process and Product properties and Design of Moving Bed Torrefaction System Model Development. ASABE Annual International, Meeting, Louisville. Kentucky*.

- Trihadiningrum, Y. Wigjosoebroto, S. Simatupang, N.D. & Damayanti, O. 2006. Reduction capacity of plastic component in municipal solid waste of Surabaya City, Indonesia. Environmental Technology and Management Conference 2006. Bandung, September 7-8, 2006.
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., & Astuti, A. D. 2018. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 14(1), 58-67.
- Wibowo, L. A., & Agustian, A. 2021. Perancangan Mesin Roll Bending Elektrik. In *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)* (Vol. 3, pp. 232-241).
- Yusrizal dan Idris, Muhammad. 2016. Pengujian *Pirolisis Kayu dengan Metode Hampa Udara Untuk Memproduksi Bahan Bakar Gas*. Jurnal Inotera Volume 1. Nomor 1.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : M. Chairul Fahmi
NPM : 1807230148
Tempat/Tanggal Lahir : Medan / 15 Maret
2000 Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status Perkawinan : Belum
Kawin Alamat : Jl. Pasar 3
No. 83
Kecamatan : Medan
Perjuangan Kabupaten :
Tegal Rejo Provinsi :
Sumatera Utara
Nomor Hp : 0822-7610-4396
E-mail :
mchairulfahmi15@gmail.com Nama Orang Tua
Ayah : Ryatno
Ibu : Nurhayati

PENDIDIKAN FORMAL

2007-2012 : SD Muhammadiyah 02
2012-2015 : SMP Negeri 11 Medan
2015-2018 : SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan
2018-2024 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara