

TUGAS AKHIR

PROSES PEMBUATAN ALAT PIROLISIS SAMPAH PLASTIK DENGAN REAKTOR GANDA

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

Disusun Oleh:

RIYANTO SITUMORANG
1407230077



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Riyanto Situmorang
NPM : 1407230077
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda
Bidang ilmu : Alat Berat

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, 29 September 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II



Ahmad Marabdi S.T., M.T

Dosen pembimbing I



Riandini Wanty Lubis, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II



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

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Riyanto Situmorang
Tempat /Tanggal Lahir : Sei Peranginangin 19 Desember 1994
NPM : 1407230077
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Minyak Dengan Reaktor Ganda “

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 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 Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 Oktober 2020

Saya yang menyatakan,



Riyanto Situmorang

ABSTRAK

Mengkonversi sampah menjadi bahan bakar minyak menggunakan teknologi pirolisis merupakan pilihan yang sangat prospektif untuk mendaur ulang plastik yang tidak dapat didaur ulang secara mekanis karena pertimbangan keekonomian. Penelitian ini untuk menentukan bahan, menganalisa hasil pembuatan komponen alat pirolisis sampah plastik dan mengevaluasi perbandingan beberapa teknik penyambungan alat pirolisis sampah plastik dalam proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik dengan reaktor ganda. Dalam merancang suatu produk hendaknya dikumpulkan semua informasi tentang persyaratan atau *requirement* yang harus dipenuhi oleh produk tersebut. Maka untuk itu dapat dibuat suatu daftar persyaratan untuk menjelaskan secara lebih detail spesifikasi produk, sebelum produk tersebut dikembangkan lebih lanjut. Reaktor berfungsi sebagai *experimental set-up* untuk mendapatkan data sebaran suhu. Reaktor yang dirancang memiliki bagian-bagian utama yaitu tutup reaktor, kondenser, plat *unloading* pada bagian dasar reaktor yang dilengkapi dengan tongkat pengait, dan pemanas (*heater*). Pada uji kinerja reaktor, minyak plastik yang dihasilkan akan semakin banyak jika suhu pemanasan semakin tinggi. Pada penelitian ini dihasilkan sebanyak 2115 ml pada suhu 606,2°C. Hasil spesifikasi belum sesuai dengan bahan bakar premium dan solar/biosolar, karena flash point yang terlalu rendah dapat berbahaya jika digunakan dalam mesin dan penyimpanan sedangkan nilai viskositas dan densitas yang terlalu rendah dapat menyebabkan gesekan (*abrasive*) dalam ruang bakar sehingga mengakibatkan pelumasan yang kurang baik.

Kata kunci : Pirolisis, Sampah Plastik, Reaktor Ganda

ABSTRACT

Converting waste into fuel oil using pyrolysis technology is a very prospective option for recycling plastics that cannot be recycled mechanically due to economic considerations. This research is to determine materials, analyze the results of making components of plastic waste pyrolysis equipment and evaluate the comparison of several techniques for connecting plastic waste pyrolysis equipment in the process of making plastic waste pyrolysis equipment with double reactors. In designing a product, all information about the requirements or requirements that must be met by the product should be collected. Therefore, a list of requirements can be made to explain in more detail the product specifications, before the product is further developed. The reactor functions as an experimental set-up to obtain temperature distribution data. The designed reactor has main parts, namely the reactor cover, condenser, unloading plate at the bottom of the reactor which is equipped with a hook stick, and a heater. In the reactor performance test, the plastic oil produced will be more and more if the heating temperature is higher. In this study, 2115 ml was produced at a temperature of 606.2°C. The specification results are not in accordance with premium fuels and diesel/biosolar, because a flash point that is too low can be dangerous if used in engines and storage, while viscosity and density values that are too low can cause friction (abrasive) in the combustion chamber resulting in poor lubrication.

Keywords: Pyrolysis, Plastic Waste, Double Reactor

KATA PENGANTAR

Dengan Rahmat Tuhan yang Maha Esa . Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan 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 “Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Minyak Dengan Reaktor Ganda” 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 terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Ummurani ST .MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar ST . MT selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra Amirsyah Putra Siregar, S.T., M.T yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar 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 ketekniksipilan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Ruspinda Situmorang dan Marsanggul be Sihombing , 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: Muhammad Nur Ade Harto, Fahrizal , Rendi Setiawan, Majid , dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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 teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, 12 Agustus 2021



Riyanto Situmorang

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Ruang Lingkup	4
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	4
BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pirolisis	6
2.1.1. Pengertian Pirolisis	6
2.1.2 Produk Pirolisis	8
2.1.3. Jenis-jenis Pirolisis	10
2.1.4. Proses Pirolisis	12
2.1.5 Parameter Proses Pirolisis	14
2.2 Sampah Plastik	16
2.2.1 Pengertian Sampah Plastik	16
2.2.2. Jenis-jenis Plastik	18
2.2.3. Sifat Thermal Bahan Plastik	20
2.2.4. Konversi Sampah Plastik menjadi Minyak	21
2.3 Reaktor	24
2.3.1. Pengertian Reaktor	24
2.3.2 Jenis-jenis Reaktor	25
2.3.3 Jenis-jenis Reaktor Pirolisis	27
2.3.4 Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik	31
2.3.5 Komponen Alat Pirolisis Sampah Plastik	32
2.3.6 Penyambungan Alat Pirolisis Sampah Plastik	33
BAB 3 : METODE	34
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.1.1 Tempat Penelitian	34
3.1.2 Waktu Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.2.1 Alat	35
3.2.1.1 Kunci 30 dan ring pas	35
3.2.1.2 Baut kepala nepel	35
3.2.1.3 Baut nepel	35
3.2.1.4 Alat press kepala selang	36
3.2.1.5 Pegangan selang/penjepit selang	36
3.2.1.6 Pemotong selang	36

3.2.1.7	Grenda	37
3.2.1.8	Meteran	37
3.2.1.9	Plat 3 mm	37
3.2.1.10	Sarung tangan	38
3.2.1.11	Gas astelin	38
3.2.1.12	Kawat las kuningan	38
3.2.1.13	Pembengkok selang	39
3.2.1.14	Tabung pereon	39
3.2.1.15	Selang 1/2	39
3.2.1.16	Kawat las astelin	40
3.2.1.17	Besi siku	40
3.2.1.18	Gunting plat	40
3.2.1.19	Pipa	41
3.2.1.20	Selang penghubung	41
3.2.1.21	Sampah plastik	41
3.2.1.22	Kompur gas 2 tungku	42
3.2.2	Bahan	42
3.3.	Bagan Alir Penelitian	43
3.4	Rancangan Alat Penelitian	43
3.4.1	Reaktor	44
3.4.2	Pengujian alat	44
3.5	Proses Pembuatan Alat Pirolisis	44
3.6	Komponen Alat Pirolisis	45
3.7	Penyambungan Alat Pirolisis	45
3.8	Prosedur Penelitian	46
BAB 4 :	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
4.1	Hasil Penelitian	47
4.1.1	Bahan baku	47
4.1.2	Proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik	47
4.1.3	Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plasrik dengan Reaktor Ganda	54
4.2	Pembahasan	58
BAB 5 :	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1.	Kesimpulan	61
5.2.	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Reaktor <i>fixed moving bed</i>	28
2.2	Reaktor <i>bubbling fluidized bed</i>	28
2.3	Reaktor <i>Circulating fluidized bed</i>	29
2.4	Reaktor <i>ultra-rapid pyrolyzer</i>	29
2.5	Reaktor <i>Rotating cone</i>	30
2.6	Reaktor <i>Ablative pyrolyzer</i>	30
2.7	Reaktor <i>vacuum pyrolyzer</i>	31
3.1	Kunci 30 dan Ring Pas	35
3.2	Baut kepala nepel model corong	35
3.3	Baut nepel	35
3.4	Alat press kepala selang	36
3.5	Pegangan selang/penjepit selang	36
3.6	Pemotong selang	36
3.7	Grenda	37
3.8	Meteran	37
3.9	Plat 3 mm	37
3.10	Sarung tangan	38
3.11	Gas astelin	38
3.12	Kawat las kuningan	38
3.13	Pembengkok selang	39
3.14	Tabung pereon	39
3.15	Selang 1/2	39
3.16	Kawat las astelin	40
3.17	Besi siku	40
3.18	Gunting plat	40
3.19	Pipa	41
3.20	Selang penghubung	41
3.21	Sampah plastik	41
3.22	Kompore gas 2 tungku	42
3.23	Diagram Alir Penelitian	43
3.24	Alur prosedur penelitian	46
4.1	Proses pemotongan besi siku	47
4.2	Proses pembengkokan selang	47
4.3	Proses pemotongan pipa	48
4.4	Proses pemotongan tabung pereon	48
4.5	Proses pemotongan plat	48
4.6	Proses pemotongan plat untuk tabung reaktor kecil	49
4.7	Proses pengelasan tutup tabung reaktor kecil	49
4.8	Pembuatan lobang untuk memasukan plastik ke tabung reaktor	50
4.9	Pembuatan lobang untuk tabung reaktor kecil	50
4.10	Pengelasan untuk tutup tabung reaktor kecil	50
4.11	Proses pembengkokan selang penghubung	51

4.12	Proses pengelasan selang penghubung antara tabung	51
4.13	Proses pengelasan selang penghubung	51
4.14	Proses pengelasan tabung kondensor tahap 1	52
4.15	Proses pengelasan tabung kondensor tahap 2	52
4.16	Proses pengelasan tabung kondensor tahap 3	53
4.17	Proses pengelasan tabung kondensor tahap 4	53
4.18	Proses pengelasan penahan antara tabung	53
4.19	Tabung reaktor	54
4.20	Kompur gas saat pengujian	54
4.21	Tabung kondensor	54
4.22	Minyak mentah	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Jumlah Produk Dari Reaksi Pirolisis Dan Gasifikasi	11
2.2	Jenis Plastik dan Penggunaannya	20
2.3	Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik	21
3.1	Jadwal Perancangan Alat Pirolisis	34
4.1	Komponen-komponen Reaktor Pirolisis Plastik	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Isu global yang sering diperbincangkan dunia dan masyarakat Indonesia adalah mengenai pemanasan global dan krisis energi. Krisis energi yang dampaknya langsung bisa dirasakan adalah fluktuatifnya harga bahan bakar. Hal ini dipengaruhi oleh kenyataan bahwa kebutuhan terhadap bahan bakar semakin meningkat pesat, sementara itu sumber bahan baku fosil di alam semakin berkurang. Konsekuensinya adalah tanpa energi masyarakat akan kembali ke jaman purba kala.

Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil juga berdampak bagi bumi. Penggunaan bahan bakar dari minyak dan batu bara disinyalir sebagai penyebab utama terjadinya pemanasan global. Pada situasi demikian, pirolisis telah mendapat perhatian yang sangat besar, penelitian tentang pirolisis semakin gencar dilakukan hingga saat ini.

Bahan plastik dalam pemanfaatannya di kehidupan manusia memang tak dapat dielakkan, sebagian besar penduduk di dunia memanfaatkan plastik dalam menjalankan aktivitasnya. Plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Sayangnya, dibalik segala kelebihan itu, sampah plastik menimbulkan masalah. Penyebabnya tak lain sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Perlu waktu berpuluh-puluh tahun untuk tanah menguraikan sampah-sampah dari bahan plastik tersebut. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Sampah plastik selama ini sering menjadi masalah di sejumlah kota besar. (Landi dan Arijanto, 2017)

Ciri lain dari kehidupan manusia modern adalah pemakaian plastik untuk bungkus makanan dan minuman mereka. Pemakaian plastik seperti polipropilena (PP) untuk wadah minuman saat ini sangat dominan karena ringan, murah, kuat, antikorosi, tahan terhadap asam dan basa, awet, isolator yang baik, dan efisiensi yang sesuai dengan kehidupan modern yang dinamis. (Ahmad dkk. 2014)

Limbah plastik merupakan limbah anorganik yang tersusun dari bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan karena tidak mudah terurai dalam tanah dan memerlukan puluhan tahun agar dapat terurai, untuk itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Secara umum agar suatu limbah plastik dapat diproses oleh suatu industri antara lain limbah harus dalam bentuk tertentu seperti biji/pellet, butiran, serbuk, pecahan.

Namun meski telah didaur ulang dengan sedemikian rupa seperti tadi masalah sampah plastik masih menjadi momok besar dalam kehidupan moderen ini karena ada sebagian sampah plastik yang belum dimanfaatkan bahkan tidak ada nilainya sehingga sampah plastik ini hanya dibuang dan ditimbun begitu saja di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah atau Tempat Pembuangan Sementara (TPS) setempat sehingga dapat mencemari lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan memanfaatkan residu- residu sampah plastik yang tidak memiliki nilai tersebut sehingga dapat bernilai lebih bahkan dapat menimbulkan manfaat yang banyak bagi kehidupan masyarakat yaitu salah satunya dengan teknologi pirolisis.

Rancang bangun *prototype* pengolah limbah sampah plastik menjadi bahan bakar cair alternatif terdiri dari dua komponen utama, antara lain reaktor sebagai tempat terjadinya pemanasan sampah plastik menjadi uap polimer tanpa udara atau dengan udara yang terbatas (pirolisis) dan kondensor yaitu tempat terjadinya proses pengembunan dari uap menjadi cair (kondensasi). Selain itu, untuk proses pemanasan, proses pengembunan juga sangat penting untuk menghasilkan kualitas bahan bakar yang baik.

Teknologi untuk menangani sampah plastik sebenarnya telah banyak dikembangkan terutama oleh beberapa negara maju yaitu seperti teknologi daur ulang. Namun alternatif lain penanganan sampah plastik yang saat ini banyak diteliti dan dikembangkan adalah mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak yaitu dengan proses pirolisis.

Teknologi pirolisis sudah lama dikembangkan, tapi proses yang terjadi selama pirolisis tidak sepenuhnya dapat dijelaskan secara rinci sampai sekarang. Pirolisis adalah proses penguraian biomassa dengan metode pemanasan dari fase padat ke gas dan fase cair. Banyak pengujian yang telah dilakukan untuk

menyelidiki hasil gas, arang dan tar dengan berbagai metode pirolisis pada masa sekarang ini.

Konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar adalah solusi ekonomis dan ramah terhadap lingkungan. Proses konversi ini selanjutnya disebut dengan proses pirolisis. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga dapat dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalori cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar.

Proses daur ulang (*recycling*) menjadi populer saat ini dan berprospek ke depan. Dengan mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak (BBM), tidak hanya mengatasi persoalan jumlah sampah plastik saja, tetapi juga dapat memproduksi bahan bakar untuk kebutuhan energi. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi. Keuntungan dari sampah plastic adalah tidak menyerap air, sehingga kadar airnya sangat rendah dibandingkan dengan sampah yang lain, misal kertas, sisa makanan dan biomassa. Di sisi lain, plastik juga mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar.

Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan.

Mesin pirolisis dengan ukuran lebih kecil dan 3 penyangkah tabung pemampatan dijadikan uji perantara sebelum mendesain mesin pirolisis dalam model mesin pirolisis satu tiang pendingin. Perlu diketahui bahwa salah satu persoalan dalam aplikasi model pirolisis saat ini adalah sulitnya tercapainya suhu pengurai sampah plastik sesuai dengan teori sehingga sulit terbentuk minyak ditabung penyuling. Salah satu penyebab yang memungkinkan ialah terdapat perbedaan ukuran tempat pembakaran dengan besarnya pemanas burner yang

digunakan. Dimana ukuran tempat pembakar tidak sebanding dengan panas burner yang tersedia.

Mengkonversi sampah menjadi bahan bakar minyak menggunakan teknologi pirolisis merupakan pilihan yang sangat prospektif untuk mendaur ulang plastik yang tidak dapat didaur ulang secara mekanis karena pertimbangan keekonomian.

Sehubungan uraian di atas, maka tertarik untuk membuat penelitian karya ilmiah yang dituangkan dalam bentuk skripsi dengan judul “**Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda**”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah: Bagaimana menentukan bahan, menganalisa hasil pembuatan komponen alat pirolisis sampah plastik dan mengevaluasi perbandingan beberapa teknik penyambungan alat pirolisis sampah plastik dalam proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik dengan reaktor ganda?

1.3. Ruang Lingkup

Merancang reaktor ganda sebagai alat untuk memproses sampah plastik menjadi menjadi bahan bakar minyak.

1.4. Tujuan

Berdasarkan latar belakang, maka penelitian ini dengan tujuan adalah untuk mengetahui reaktor ganda sebagai alat untuk memproses sampah plastik menjadi menjadi bahan bakar minyak

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat penelitian ini untuk memasyarakatkan teknologi pirolisis secara sederhana dan handal dalam rangka pengolahan sampah plastik menjadi sebuah bahan bakar minyak ramah lingkungan yang memiliki nilai ekonomis.

2. Membina masyarakat agar dapat menguasai teknik pengelolaan, pengolahan dan pemanfaatan serta hasil yang diperoleh dari sampah plastik sebagai sumber energi.
3. Sebagai proyek percontohan peduli terhadap lingkungan dan paham dengan pengelolaan sampah khususnya sampah plastik yang ada disekitar lingkungan masyarakat. Program penelitian ini juga nantinya dapat dikembangkan ke pengelolaan sampah organik dan anorganik lainnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pirolisis

2.1.1. Pengertian Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar (*pyrolytic oil*), dan arang. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda. (Ramadhan. P dan Ali, 2014)

Pirolisis berasal dari kata *pyro* (*fire/api*) dan *lyo* (*loosening/pelepasan*) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian/perengkahan(*cracking*) bahan organik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses pirolisis merupakan proses perengkahan plastik pada suhu tinggi dimulai pada temperatur sekitar 230 °C. Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik. (Nurhayati dkk, 2018). Pirolisis merupakan proses pembakaran bahan organik dengan konsentrasi oksigen rendah. Pirolisis akan menghasilkan gas-gas (terutama CO, H₂ dan CH₄), arang, abu, dan material tak terbakar sebagai produk ikutan. (Hadi dkk, 2014). Parameter utama yang dapat mempengaruhi pirolisis adalah: kadar air, ukuran partikel, laju pemanasan, temperatur, bahan, komposisi bahan uji, laju nitrogen, waktu tinggal padatan, waktu tinggal volatil, dan tipe pirolisis. Proses pirolisis merupakan salah satu alternatif pengolahan sampah plastik yang dapat mengurangi berat dan volume yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan. (Wibowo, 2011)

Pirolisis secara umum didefinisikan sebagai pembakaran atau pemanasan terkontrol sebuah bahan tanpa adanya oksigen. Dalam pirolisis plastik, struktur makromolekul polimer hancur menjadi molekul kecil atau oligomer dan terkadang menjadi unit monomer.

Menjadi lebih kecil yang ditargetkan rantai hidro-karbon, misalnya, bahan bakar cair. Karena pirolisis pada dasarnya adalah termal proses degradasi, penting untuk memahami efek dari mencampur bahan pakan yang memiliki titik leleh yang berbeda, pada setiap prosesnya. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi efisiensi proses pirolisis adalah tekanan, jenis reaktor, suhu, waktu tinggal dan mekanisme pendinginan. (Chiwara dkk, 2017)

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi temperatur yang tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan. Baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis dilakukan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah distilasi kering. Proses pirolisis sangat banyak digunakan di industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol, dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengkonversi diklorida etilena menjadi vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengkonversi biomassa menjadi syngas, untuk mengubah sampah menjadi zat yang aman untuk dibuang, dan untuk mengubah hidrokarbon menengah-berat dari minyak menjadi lebih ringan, seperti bensin.

Istilah lain dari pirolisis adalah *destructive distillation* atau destilasi kering, dimana merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Pada umumnya pirolisis dipengaruhi oleh waktu, kadar air bahan, suhu, dan ukuran bahan. Uraian lengkapnya sebagai berikut:

- a. Kadar air umpan yang tinggi menyebabkan waktu pirolisis menjadi lama dan hasil cair menjadi rendah konsentrasinya, tetapi keaktifan

arang akan meningkat karena uap air dapat berperan sebagai oksidator zat-zat yang melekat pada permukaan arang. (Agra dkk, 1973)

- b. Ukuran bahan terkait jenis bahan dan alat yang digunakan. Semakin kecil ukuran bahan luas permukaan per satuan massa semakin besar, sehingga dapat mempercepat perambatan panas keseluruhan umpan dan frekuensi tumbukan meningkat misalnya serbuk gergaji cetak dipirolisis dengan diameter 1,5 cm (Budhijanto, 1993). Ukuran bahan juga berpengaruh terhadap kapasitas pengolahan.
- c. Suhu proses yang tinggi akan menurunkan hasil arang, sedangkan hasil cair dan gas meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya zat-zat yang terurai dan teruapkan. Pirolisis serbuk gergaji kayu memerlukan suhu 4560C (Budhijanto, 1993)

2.1.2. Produk Pirolisis

a. Bio-Oil

Bio-oil merupakan produk utama dari proses pirolisis cepat (Fast Pyrolysis). Menurut Kristy (2007), bio-oil adalah cairan coklat gelap yang tersusun dari senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi (*highly oxygenated compounds*), yang diproduksi melalui *fast pyrolysis*, dimana propertinya mendekati Heavy Fuel Oil (HFO) nomor 2 atau 6. Bio-oil bersifat asam dengan pH sekitar 3-4, yang mempunyai nilai kalor sebesar 75.000 BTU per galon.

Bio-oil berbeda dengan asap cair yang sudah dikenal secara umum di Indonesia. Asap cair dihasilkan dari proses *slow pyrolysis* dimana laju transfer panasnya sangat kecil, *vapour residence time* yang panjang dan sebagian besar mengandung air (70%), fenol, asam karboksilat dan karbonil. Sedangkan bio-oil dihasilkan dari proses *fast pyrolysis* dimana laju transfer panasnya cepat, *vapour residence time* yang pendek dan sebagian besar mengandung senyawa-senyawa teroksigenasi tinggi. (Cahyono, 2013)

Bio-oil bersifat larut sempurna dalam alkohol, dimana pelarutannya akan meningkatkan stabilitas bahan dan menurunkan viskositas

sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar. Bio-oil tidak dapat larut dalam diesel oil, tetapi bisa diemulsifikasi dengan diesel oil. Emulsifikasi 10-30 % bio-oil dalam diesel oil dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosifitas, dan meningkatkan nilai bilangan setan.

Bio-oil adalah senyawa an organik yang merupakan cairan yang diproduksi melalui proses pirolisis. Cairan yang berasal dari proses pirolisis diberi nama dengan cara yang berbeda-beda. Ada yang menyebut cairan pirolisis, minyak pirolisis (*pyrolysis oil*), asap cair, cairan kayu (*wood liquids*), minyak kayu (*wood oil*), *bio-crude-oil*, *bio-fuel-oil*, *liquid smoke*, *wood distillates*, *pyroligneous tar*, *pyroligneous acid*, dan *liquidwood*.

Bio-oil mempunyai standar warna dari hijau gelap sampai dengan merah gelap mendekati hitam tergantung dari bahan dan proses yang digunakan untuk mendapatkan produk. Asap cair tersusun dari berbagai komponen kimia dari bahan-bahan kimia yang mudah menguap seperti *formaldehid*, asam asetat, fenol, dan *anhydro* sugar.

b. Bio-Char

Bio-char adalah hasil pirolisis yang berbentuk padat. Bio-char mempunyai komposisi yang berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan. Sifat bio-char yang lambat terdekomposisi dan dapat bertahan cukup lama di dalam tanah sampai ribuan tahun lamanya merupakan potensi yang cukup baik. Untuk menyimpan karbon di dalam tanah. Secara sederhana bio-char adalah produk yang kaya dengan karbon yang diperoleh dari biomas, seperti kayu, pupuk kandang, atau dedaunan dipanaskan dalam tempat tertutup dengan sedikit atau tanpa tersedia udara. Secara lebih teknis, bio-char dihasilkan melalui teknologi proses yang disebut dekomposisi termal dari bahan organik di bawah kondisi pasokan oksigen yang terbatas dan pada suhu yang tergolong rendah (< 7000C). (Goenadi dan Santi, 2017). Komposisi utama dari bio-char adalah karbon (85%), oksigen, dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar yang berasal dari fosil, bio-

char mengandung bahan inorganik berupa abu. LHV dari bio-char sekitar 32 MJ/kg. Nilai LHV lebih tinggi daripada asap cair maupun biomassa. Bio-char digunakan sebagai metal adsorption. Empat logam yang dapat diadsorpsi oleh bio-char adalah logam Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , dan Zn^{2+} . Bio-char dapat efektif mengadsorpsi Cudiikuti ion Zn, Cd, dan Ni. Selain sebagai metal adsorption, bio-char dapat digunakan sebagai energi yang dapat diperbaharui.

Proses pirolisis menghasilkan bio-char ini mulai dikenal oleh masyarakat karena karakteristik dan sifat-sifat fungsionalnya. Hasil analisa terhadap proses produksi bio-char melalui proses pirolisis memiliki profitabilitas yang tinggi sehingga usaha ini mempunyai prospek yang menjanjikan dan pasar sangat terbuka lebar. Begitu pula faktor-faktor lain yang menentukan tingkat profitabilitas seperti persaingan dalam industri, daya tawar pembeli, daya tawar pemasok, ancaman pemain baru serta ancaman barang substitusi tidak menjadi penghambat yang serius.

2.1.3. Jenis-jenis Pirolisis

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

a. Slow Pyrolysis

Pirolisis lambat dari biomasa dilakukan pada laju pemanasan kurang dari 100K/menit (Evans, 2004). Mekanisme reaksi yang terjadi dan produk yang dihasilkan sangat berbeda dengan pirolisis fast dan flash. Banyak produk yang berharga yang dihasilkan selama pirolisis lambat. Produk utama yang dihasilkan selama pirolisis lambat adalah padatan dan minyak. Padatan dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam aplikasi pembakaran. Bersama dengan minyak dan padatan, pada temperatur yang lebih tinggi maka akan didapatkan gas sebagai hasil dari pemecahan kedua. Karena besarnya cakupan produk banyak keuntungan yang didapatkan dari pirolisis lambat. Efek dari temperatur, laju pemanasan dan waktu tinggal adalah unsur penting

pada pirolisis lambat (Encinar et al, 2009) telah meneliti tentang *Jerusalem Artichoke Pyrolysis Energetic Evaluation*. Mereka meneliti tentang pengaruh dari temperatur (400°C-800°C), ukuran dari partikel (0,63-2,00 mm), laju nitrogen (75-300 mL min⁻¹), dan massa awal yang digunakan (2,5-10 g). Peningkatan temperatur menyebabkan penurunan untuk hasil padatan dan minyak sedangkan hasil gas meningkat. Penurunan hasil minyak disebabkan karena reaksi minyak sekunder ketika temperatur semakin meningkat. Inilah juga yang menyebabkan hasil gas meningkat disebabkan juga karena reaksi minyak sekunder dari minyak. Dengan peningkatan temperatur mempengaruhi juga peningkatan jumlah karbon dan ash sedangkan jumlah volatil menurun. Ketika temperatur meningkat kandungan gas seperti H₂, CO, CH₄, dan CO₂ juga meningkat dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil maksimum ini semakinsedikit. Ketika laju pemanasan meningkat banyaknya gas seperti CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ dan lainnya meningkat. Itu menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lebih tinggi akan melepaskan gas hidrokarbon. Begitu juga produk minyak meningkat seiring dengan kenaikan laju pemanasan. Temperatur memiliki efek signifikan terhadap hasil produk.

Tabel 2.1
Jumlah Produk Dari Reaksi Pirolisis Dan Gasifikasi

Kondisi	Produk		
	Minyak	Padatan	Gas
Pirolisis cepat (laju pemanasan >100K/min)	75%	12%	13%
Pirolisis lambat (laju pemanasan <100K/min)	30%	45%	35%
Gasifikasi	5%	10%	85%

Sumber: Evans (2004)

b. *Flash Pyrolysis*

Kondisi operasi *flash pyrolysis* berada pada temperatur operasi yang tinggi yaitu $> 600^{\circ}\text{C}$ dan laju pemanasan yang tinggi ($1000^{\circ}\text{C}/\text{menit}$). *Flash pyrolysis* ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas karena pada proses ini, semua komposisi biomassa akan menguap dan produk yang dihasilkan lebih ke gas yang tidak bisa terkondensasi.

c. *Fast Pyrolysis*

Fast pyrolysis merupakan proses pirolisis pada suhu $425\text{-}600^{\circ}\text{C}$ dengan

laju pemanasan yang cepat ($300\text{-}500^{\circ}\text{C}/\text{menit}$) dimana produk utama adalah liquid dominan dan gas.

d. *Terofaksi*

Terofaksi merupakan proses pirolisis pada temperatur $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$ dengan laju pemanasan yang lambat ($5\text{-}7^{\circ}\text{C}/\text{menit}$) dimana produk utama yang dihasilkan adalah padatan yang kaya akan karbon.

2.1.4. Proses Pirolisis

Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik. Pada senyawa yang berderajat polimerisasi tinggi, pirolisis merupakan reaksi depolimerisasi dan pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas. Reaksi ini melalui tiga tahap yaitu, tahap memulai, tahap perambatan dan tahap penghentian. Pada proses ini material polimer atau plastik dipanaskan pada suhu tinggi. Proses pemanasan ini menyebabkan struktur makro molekul dari plastik terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Produk yang dihasilkan berupa fraksi gas, residu padat dan fraksi cair yang mengandung parafin, olefin, naphan, dan aromatis. Hasil proses pirolisis ini dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik bahan baku yang digunakan waktu dan suhu proses. (Ramadhan dan Ali, 2014)

Pirolisis adalah proses perlakuan panas pada material biomasa yang dikonversi menjadi produk berupa cair (*bio-oil*), padat (*bio-coal*) dan gas (*syngas*) dalam suatu reaktor tanpa kehadiran oksigen di dalam reaktor. Panas yang

diberikan yaitu mulai dari temperatur 250°C sampai dengan temperatur 1000°C. Temperatur adalah faktor yang paling penting untuk produk hasil pirolisis. Biasanya temperatur yang sering digunakan yaitu berkisar 300°C-600°C untuk produk *dominan liquid*.

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°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 (5-10°C/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 200-300°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 mensintesis produk kimia yang bermanfaat menggunakan teknik itu kebalikan dari proses Fischer-Tropsch (F-T). Dalam proses F-T, bahan berkarbon, mis. batubara, pertama kali dibakar untuk memberikan syngas (CO + H₂). Syngas kemudian disintesis menjadi rantai molekul tinggi yang ditargetkan hidrokarbon misalnya bensin, solar dan parafin. Proses pirolisis

dimulai dengan lebih tinggi hidrokarbon rantai molekul (polimer) dan kemudian memecahnya (retak) menggunakan baik panas, katalis atau gas hidrogen. (Al-Salem dkk, 2017).

Proses pirolisis adalah proses mengkonversi sampah plastik menjadi bahan petrokimia dasar yang dapat digunakan menjadi bahan baku hidrokarbon atau bahan bakar (Naimah dan Aidha, 2017).

Proses pirolisis disebut juga proses dekomposisi kimia material organik tanpa udara. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda. Jika dilihat dari berbagai sisi, proses pirolisis memiliki banyak keuntungan. Dari segi lingkungan, proses pirolisis dapat mengurangi volume sampah plastik yang memang sudah menjadi permasalahan selama ini, serta menghasilkan sumber bahan bakar alternatif sebagai solusi permasalahan krisis energi saat ini. (Ulrich dan Eppinger, 2001)

Mekanisme proses pirolisis yaitu material pirolisis dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dengan temperature 400°C-800°C) kemudian gas pirolisis dikondensasi sehingga menghasilkan produk bio-oil tanpa melibatkan oksigen saat bereaksi. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis berupa padat, cair dan gas. Telah banyak penelitian mengenai pirolisis sampah kota untuk produksi bio-oil pengganti bahan bakar konvensional yang digunakan sekarang ini (Islam, 2010).

2.1.5. Parameter Proses Pirolisis

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).

a. Temperatur

Temperatur reaksi proses pirolisis berada pada kisaran 200-600°C.

Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material

sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan produk pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis.

Akibanya, terjadi peningkatan kehilangan massa dan proses karbonisasi material. Tetapi, 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).

b. Kadar air dalam material lignoselulosa

Dalam proses pirolisis, kadar air memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap efisiensi proses pirolisis. Hal ini dikaitkan dengan kehilangan energi panas yang cukup besar untuk proses penguapan air sebelum proses pirolisis berlangsung dan akan membutuhkan waktu tinggal yang lama untuk mendapatkan proses pirolisis yang sempurna. Selain mengganggu kebutuhan termal untuk proses pirolisis, kadar air yang tinggi dalam material akan memerlukan beban pendinginan dan peralatan pemisah uap air yang terkondensasi serta kadar air yang tinggi dalam material organik selama 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)

c. Waktu reaksi

Waktu reaksi berkaitan dengan lamanya waktu tahan material dalam reaktor. Variabel ini akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi selama proses pirolisis berlangsung. Jika waktu tinggal cukup lama, proses pirolisis akan sempurna untuk mengkonversikan bahan baku menjadi gas dan *liquid*. 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).

d. Ukuran partikel sampah

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

e. 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)

f. Kehadiran 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).

g. 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).

2.2. Sampah Plastik

2.2.1. Pengertian Sampah Plastik

Sampah merupakan masalah utama yang sedang dihadapi kota-kota di Indonesia, yang dihasilkan dari buangan sisa aktivitas masyarakat perkotaan. Penumpukan sampah di perkotaan cenderung meningkat dan tidak terkendali. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk yang cepat, ekonomi masyarakat yang semakin berkembang, arus urbanisasi yang tidak bisa dibendung serta gaya hidup masyarakat perkotaan yang cenderung konsumneris.

Saat ini kehidupan manusia sehari-hari tidak terlepas dari penggunaan plastik dikarenakan karakteristiknya yang fleksibel, ringan, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, tidak mudah pecah, hingga harganya yang relative murah bila dibandingkan dengan material lainnya. Namun disisi lain, plastik merupakan bahan anorganik yang membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun untuk dapat terurai dalam tanah, sehingga perlu dikembangkan solusi yang tepat agar dapat mengurangi sampah jenis plastik tersebut sekaligus dapat menghasilkan produk lain yang bermanfaat dan berdayaguna.

Proses daur ulang plastik yaitu pemanfaatan sampah plastik menjadi produk yang lebih bermanfaat menjadi sangat populer saat ini dengan semaraknya kepedulian berbagai pihak akan lingkungan yang berkelanjutan. Salah satunya dapat dilakukan dengan cara melakukan konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak setara bensin dan solar. Proses ini dapat dilakukan karena pada dasarnya plastik adalah polimer atau rantai panjang atom mengikat satu sama lain yang berasal dari minyak bumi, sehingga proses ini hanya mengembalikannya ke dalam bentuk asal mulanya.

Pemakaian plastik seperti polipropilena (PP) merupakan komoditas industri termoplastik kedua terbesar di dunia setelah polivinil klorida (PVC). PP lebih tahan panas, lebih kuat dan kokoh, dan lebih bening dari polietilena (PE). (Kumar dan Singh, 2011)

Sampah dapat diartikan sebagai barang-barang buangan atau kotoran seperti daun kering, kertas-kertas kotor, plastik, botol aqua dan lain sebagainya, atau bisa juga disebut barang yang tidak berharga. Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan mencemari lingkungan dan sebagai sumber penyakit serta berpotensi mengakibatkan menurunnya produktifitas yang pada akhirnya akan menghambat laju pergerakan ekonomi masyarakat. Salah satunya sampah

anorganik berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. (Lubis dkk, 2017)

Plastik merupakan polimer yang berat molekulnya tidak bisa ditentukan, ataupun dihitung. Karena itu, kecepatan reaksi dekomposisi didasarkan pada perubahan massa atau fraksi massa per satuan waktu. Produk pirolisis selain dipengaruhi oleh suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan. (Ramadhan. P dan Ali, 2014)

Plastik merupakan bahan yang sangat sulit tergantikan untuk berbagai kebutuhan masyarakat sehari-hari seperti tas, produk-produk elektronik, mainan, otomotif, kemasan makanan, dan lain-lain. Kebutuhan plastik akan terus meningkat mengingat sifat-sifat plastik antara lain ringan, fleksibel, kuat, tahan terhadap korosi, transparan dan mudah diwarnai, serta sifat insulasinya yang cukup baik sehingga secara otomatis produksi sampah plastik akan terus meningkat dari tahun ke tahun. (Kasim, 2018)

Plastik adalah salah satu jenis makro molekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). (Surono, 2013)

Sampah plastik merupakan salah satu sampah organik yang diproduksi setiap tahun oleh seluruh dunia. Pada umumnya sampah plastik tersebut memiliki komposisi 46 % polyethylene (HDPE dan LDPE), 16 % polypropylen (PP), 16 % polystyrene (PS), 7 % polyvinyl chloride (PVC), 5 % polyethylene terephthalate (PET), 5 % acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), dan 5 % polimer-polimer yang lainnya. Secara umum, kelebihan plastik dibanding dengan material lain, diantaranya adalah kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik.

2.2.2. Jenis-jenis Plastik

Peningkatan jumlah pemakaian energi dan peningkatan timbunan sampah plastik merupakan dua permasalahan besar yang muncul seiring semakin tingginya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan energi listrik rumah tangga

tercatat terus meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata per tahun 5,2 %, sebaliknya cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi di masa mendatang jika tidak ditemukan sumber-sumber energi yang baru. (Mokhtar dkk, 2018)

Meningkatnya jumlah permintaan plastic disebabkan karena plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Bahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator dan proses pembuatannya lebih murah, Namun dibalik semua kelebihannya, bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi. Plastik tidak dapat membusuk, tidak dapat menyerap air, maupun tidak dapat berkarat dan pada akhirnya tidak dapat diuraikan oleh mikroorganismes dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. (Landi dan Ariyanto, 2017)

Jenis plastik dapat digolongkan berdasarkan sifat fisiknya, yaitu:

a. Thermoplastik

Thermoplastik merupakan jenis plastik yang bisa didaur ulang atau dicetak lagi atau dengan cara proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS dan polikarbonat (PC)

b. Thermosetting

Thermosetting merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan dapat menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya, contoh resin epoksi, bakelit, resin melamin dan urea formaldehida. (Mokhtar dkk, 2018)

Tabel 2.2
Jenis Plastik dan Penggunaannya

No.	Jenis Plastik	Penggunaannya
1.	PET (<i>polyethylene terephthalate</i>)	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat dan botol kosmetik
2.	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3.	PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal
4.	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya
5.	PP (<i>Polypropylene</i>)	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6.	PS (<i>Polystyrene</i>)	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik
7.	Jenis plastic lainnya	Botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

Sumber: Surono (2013)

2.2.3. Sifat Thermal Bahan Plastik

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 perengganan 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. (Surono, 2013)

Tabel 2.3
Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik

No.	Jenis Plastik	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur Proses Maks (°C)
1.	PP	168	5	80
2.	HDPE	134	-110	82
3.	LDPE	330	-115	260
4.	PA	260	50	100
5.	PET	250	70	100
6.	ABS	-	110	85
7.	PS	-	90	70
8.	PMMA	-	100	85
9.	PC	-	150	246
10.	PVC	-	90	71

Sumber: Landi dan Arijanto (2017)

2.2.4. Konversi Sampah Plastik menjadi Minyak

Bahan bakar adalah bahan-bahan digunakan dalam proses pembakaran. Tanpa adanya bahan bakar tersebut pembakaran tidak akan mungkin dapat berlangsung. Banyak sekali jenis bahan bakar yang dikenal dalam kehidupan kita sehari-hari. Penggolongan ini dapat dibagi berdasarkan dari asalnya, bahan bakar dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu : bahan bakar nabati, bahan bakar mineral dan bahan bakar fosil. Apabila dilihat dari bentuknya, maka bahan

bakar dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu: bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan bahan bakar gas.

Bahan bakar minyak adalah bahan bakar mineral cair yang diperoleh dari hasil tambang pengeboran sumur-sumur minyak, dan hasil kasar yang diperoleh disebut dengan minyak mentah atau crude oil. Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan bermacam bahan bakar yang memiliki kualitas berbeda-beda.

Kebanyakan senyawa yang ditemukan dalam minyak bumi adalah gabungan dari hidrogen dan karbon. Material-material ini disebut hidrokarbon. Senyawa lain yang ada seperti belerang, oksigen, dan nitrogen. Pengoperasian fisik dari kilang minyak seperti: penguapan, penggesekan, dan pendinginan untuk menentukan jenis hidrokarbon yang besar karena dalam material tersebut merupakan bagian yang penting dalam minyak, tetapi pengoperasian secara kimiawi, seperti: pengilangan dan penyaringan.

Sampah plastik yang diolah menjadi minyak, dapat dihasilkan dari pengolahan sampah plastik dengan mempertimbangkan beberapa parameter antara lain jenis plastik yang diolah, temperatur proses, penggunaan katalis dan jenis katalis yang digunakan. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan pada proses konversi sampah plastik menjadi minyak, dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Jenis sampah plastik *polietilene* atau dikenal dengan *pilipropilene* dapat diolah dengan proses *hydrocracking*. Proses ini dibantu dengan penambahan katalis menjadi hidrokarbon rantai pendek atau sekelas bensin.
- b. Jenis sampah plastik LDPE dikonversi dengan thermal cracking tanpa adanya penambahan katalis akan menghasilkan minyak hidrokarbon lebih panjang atau setara dengan kerosin.
- c. Jenis sampah plastik yang berasal dari campuran plastik PE dan PP yang dikonversi dengan proses dengan *thermo cracking* pada temperatur 450°C yang dilakukan selama 2 jam dan selanjutnya dikondensasikan pada temperatur 21°C akan menghasilkan minyak

dengan rantai hidrokarbon C12-C17 yang mempunyai jumlah atom Carbon yang setara dengan solar.

- d. Jenis sampah plastik LDPE yang dikonversikan dengan *thermal cracking* yang dikombinasikan dengan *catalytic cracking* akan menghasilkan jumlah minyak yang optimal pada temperatur pirolisis 550°C, dimana perbandingan katalis/sampah plastik adalah 1: 4. (Azharman dkk, 2019)

Untuk melakukan pengembangan terhadap konsep suatu produk diperlukan beberapa tahapan yaitu:

- a. Identifikasi kebutuhan

Dalam tahapan ini dilakukan untuk memahami akan kebutuhan dan mengkomunikasikannya serta melakukan identifikasi secara efektif dan terarah terhadap suatu konsep pengembangan produk kepada tim pengembang.

- b. Penetapan spesifikasi target

Spesifikasi produk memberikan informasi bagaimana suatu produk bekerja. Hal ini didapatkan dari identifikasi kebutuhan yang telah dilakukan.

- c. Penyusunan konsep

Penyusunan suatu konsep mencakup dari gabungan penelitian-penelitian yang bertujuan memecahkan secara kreatif oleh tim pengembang.

- d. Pemilihan konsep

Kegiatan pemilihan konsep dilakukan ketika didapatkan beberapa konsep, yang kemudian dianalisis untuk dieliminasi secara berurutan, sehingga didapatkan konsep yang menjanjikan.

- e. Pengujian konsep

Pengujian konsep merupakan kegiatan dilakukan untuk uji konsep melalui pemodelan secara teknis agar mendapatkan spesifikasi akhir.

- f. Penentuan spesifikasi akhir

Spesifikasi final yang telah dipilih dan diuji secara konsep oleh tim pengembang melalui pemodelan secara teknis.

- g. Perencanaan proyek
Kegiatan yang membuat jadwal pengembangan secara rinci dan mengidentifikasi daya yang digunakan untuk pengembangan oleh tim pengembang, dimana tercatat secara rinci dalam perjanjian yang dikenal dengan buku kontrak.
- h. Analisis ekonomi
Hal ini menganalisis biaya manufaktur dan biaya pengembangan untuk keberlanjutan dalam program pengembangan dalam segi ekonomi.
- i. Analisa produk-produk pesaing
Perlu dilakukan analisa produk pesaing untuk menentukan posisi produk baru jika dilakukan produksi secara komersial.
- j. Pemodelan dan pembuatan *prototype*
Kegiatan ini membantu tim pengembang dalam mengetahui kelayakan suatu produk dalam suatu model pembuktian konsep yang telah ditetapkan. (Azharman dkk, 2019)

2.3. Reaktor

2.3.1. Pengertian Reaktor

Reaktor adalah suatu alat proses tempat dimana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau reaksi nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor kimia adalah segalatempat terjadinya reaksi kimia, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai ukuranyang besar seperti reaktor skala industri. Reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) beroperasi pada kondisi *steady state* dan mudah dalam control temperatur, tetapi waktu tinggal reaktan dalam reaktor ditentukan oleh laju alir dari umpan yang masuk atau keluar, maka waktu tinggal sangat terbatas sehingga sulit mencapai konversi reaktan per volume reaktor yang tinggi karena dibutuhkan reaktor dengan volume yang sangat besar. (Raihan, 2018)

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

kimia atau reaksi kimia, faktor transfer panas, faktor transfer massa dan faktor keselamatan. (Raihan, 2018)

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*).

Reaktor adalah suatu 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.

2.3.2. Jenis-jenis Reaktor

Dalam teknik kimia, reaktor kimia adalah suatu bejana tempat berlangsungnya reaksi kimia. Rancangan dari reaktor ini tergantung dari banyak variabel yang dapat dipelajari di teknik kimia. 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)

Jenis-jenis reaktor adalah sebagai berikut:

a. Reaktor *batch*

Reaktor batch merupakan reaktor yang menghasilkan produk dengan basis tiap satuan *batch*. Dalam satu kali proses *batch*, reaktan dikonversi menjadi produk dalam waktu tertentu hingga kesetimbangan tercapai atau reaktan habis bereaksi. Dalam reaktor *batch*, konversi) berubah setiap saat sebagai fungsi waktu hingga kesetimbangan tercapai atau reaktan habis bereaksi dalam satu *batch*. Proses batch merupakan sebuah proses dimana semua reaktan dimasukkan bersama-sama pada awal proses dan produk dikeluarkan pada akhir proses. Dalam proses ini, semua reagen ditambahkan di awal proses dan tidak penambahan atau pengeluaran ketika proses berlangsung. Proses batch cocok untuk produksi skala kecil.

b. Reaktor semi *batch*

Reaktor semi *batch* adalah jenis reaktor yang paling sering dipergunakan dalam industri kimia, terutama di cabang kimia, di laboratorium, kimia organik dan dalam proses bioteknologi. Proses semi batch merupakan proses yang berbeda dengan proses batch, pada proses ini input dan output dioperasikan dengan baik secara berkelanjutan.

c. Reaktor kontinyu

Reaktor kontinyu merupakan reaktor yang beroperasi secara terus-menerus dimana reaktan akan terus mengalir dan diikuti reaksi disepanjang reaktor. Semakin besar/panjang ukuran reaktor maka kesempatan reaktan untuk bereaksi akan semakin besar karena waktu reaksinya lebih lama. Dengan kata lain, waktu tinggal berbanding lurus dengan volume reaktor, sehingga dapat dikatakan konversi merupakan fungsi volume reaktor. Proses kontinyu merupakan sebuah proses dimana reaktan yang diumpankan ke dalam reaktor dan produk atau produk sampingan dikeluarkan ketika proses masih berlangsung

secara berkelanjutan. Biasanya biaya produksi pada proses kontinyu lebih hemat dan murah dibandingkan dengan proses batch. Proses kontinyu lebih cocok digunakan untuk industri skala besar.

d. *Continuous Stirred Tank Reaktor (CSTR)*

Reaktor CSTR yaitu reaktor yang dapat digunakan untuk reaksi homogen dimana suhu, konsentrasi dan kecepatan reaksi diantara zat-zat yang bereaksi sama di semua posisi reaktor atau dapat dikatakan konsentrasi dan kecepatan reaksi bukan fungsi waktu dan posisi dalam reaktor.

e. *Plug Flow Reaktor (PFR)*

Reaktor PFR merupakan reaktor jenis kontinyu yang berbentuk pipa, sehingga di sepanjang reaktor terjadi perubahan konsentrasi, suhu dan kecepatan reaksi baik arah axial maupun radial. Reaktan masuk kemudian mengalir disepanjang reaktor dan bereaksi sehingga konversi meningkat dengan meningkatnya panjang reaktor.

f. *Packed Bed Reaktor (PBR)*

Reaktor PBR merupakan reaktor tubular yang didalamnya terdapat partikel katalis. Pada dasarnya persamaan neraca massa PBR sama dengan neraca massa PFR, hanya perhitungan pada berat katalisnya yang berbeda.

g. Bioreaktor

Reaktor jenis ini yang paling sederhana sampai yang paling kompleks, proses biologis dapat digolongkan sebagai fermentasi, proses fisiologis dasar dan tindakan hidup entitas. (Raihan, 2018)

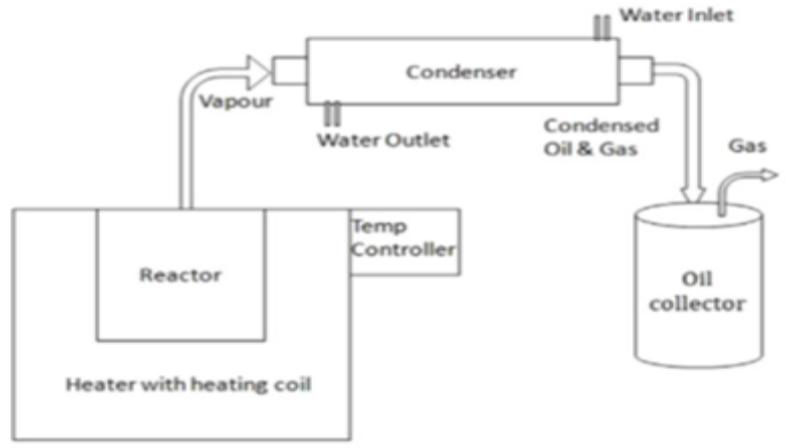
2.3.3. Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

Jenis-jenis reaktor pirolisis adalah sebagai berikut:

a. *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

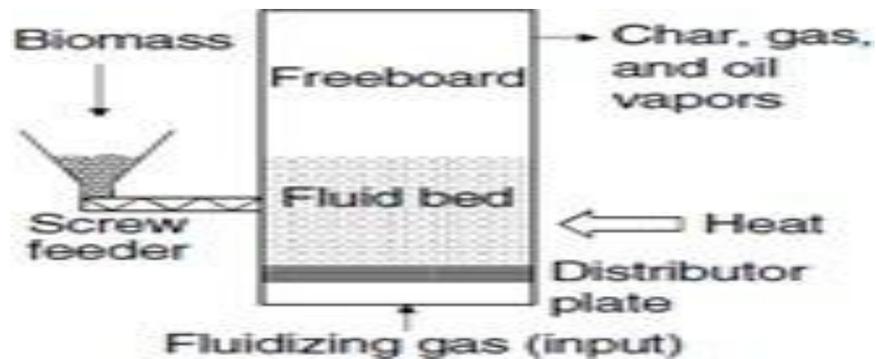
kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat massa bahan uji, sehingga perlu dibersihkan sebelum menggunakan ke pengoperasian berikutnya.



Gambar 2.1. Reaktor *fixed moving bed* (Sentilkumar, 2015).

b. *Bubbling fluidized bed*

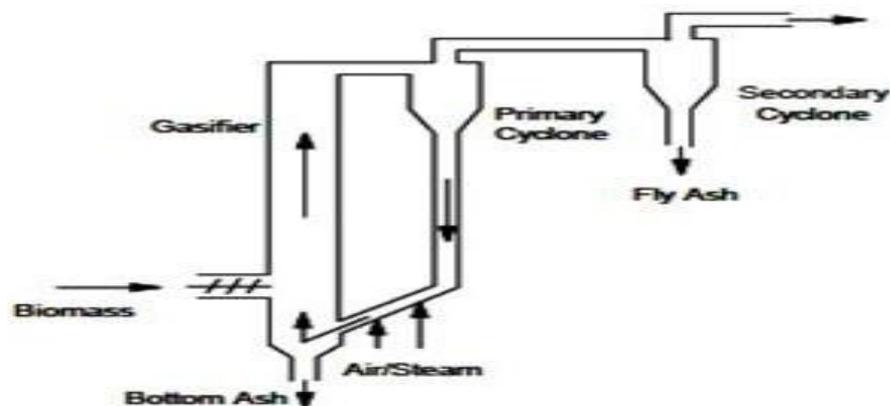
Reaktor yang bertipe *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor paling baik. Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara normal 1 (satu) atm dengan temperatur sedang 450°C, dan dapat menghasilkan bio-oil hingga 75% dari massa, tergantung dari biomassa yang digunakan sebagai sumber. Pada 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.



Gambar 2.2. Reaktor *bubbling fluidized bed* (Basu, 2010).

c. *Circulating fluidized bed*

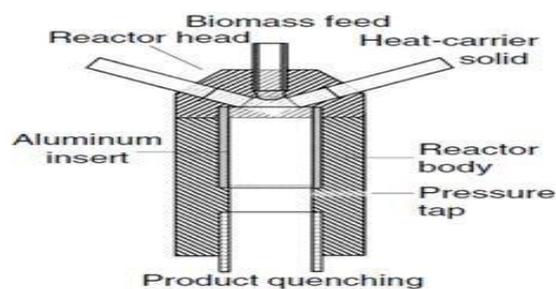
Circulating fluidized bed adalah reaktor dengan kerja seluruh padatan material terbawa aliran, selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah cocok untuk reaksi berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi, dan produksi tar yang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



Gambar 2.3. Reaktor *Circulating fluidized bed* (Sentilkumar, 2015).

d. *Ultra rapid pyrolyzer*

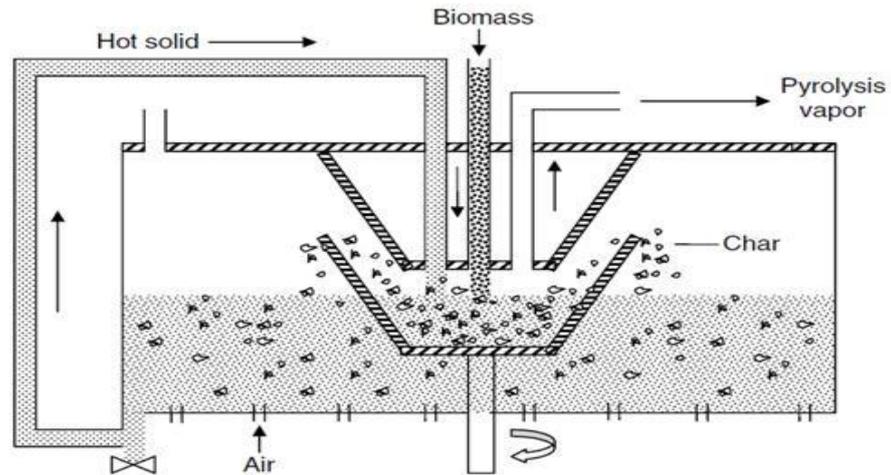
Ultra rapid pyrolyzer adalah reaktor dengan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C , maka akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan. Hal ini terdapat dalam Gambar 2.4 Reaktor *ultra-rapid pyrolyzer* (Basu, 2010).



Gambar 2.4 Reaktor *ultra-rapid pyrolyzer* (Basu, 2010).

e. *Rotating cone*

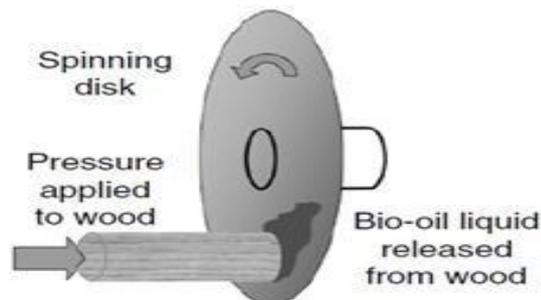
Rotating cone adalah reaktor yang menggunakan pasir silika sebagai media pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh yang diakibatkan oleh putaran dari wadah.



Gambar 2.5 Reaktor *Rotating cone* (Basu, 2010).

f. *Ablative pyrolyzer*

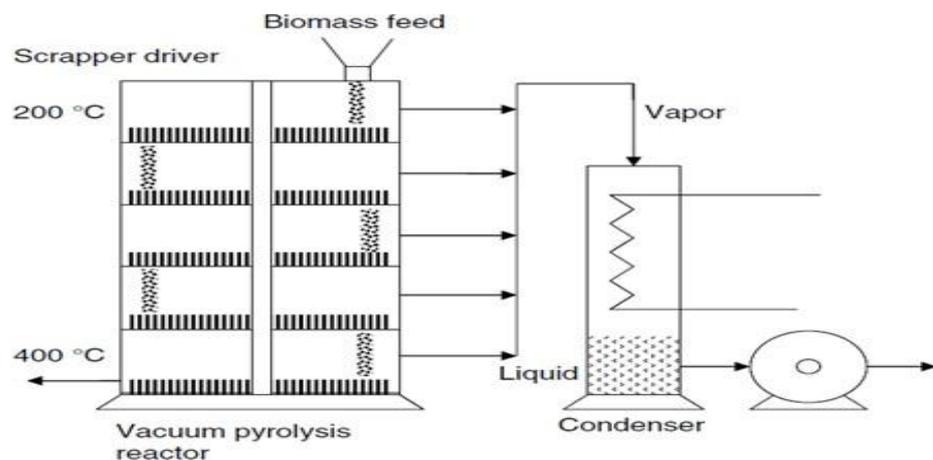
Ablative pyrolyzer adalah reaktor yang melibatkan tekanan tinggi antara partikel biomassa dan plat putar sebagai media pemanas. Hal ini memungkinkan perpindahan panas tanpa hambatan dari dinding ke biomassa yang menyebabkan produk cair dari biomassa meleleh keluar dari biomassa. Akibat dari transfer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



Gambar 2.6. Reaktor *Ablative pyrolyzer* (Basu, 2010).

g. *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, 2006).



Gambar 2.7. Reaktor *vacuum pyrolyzer* (Basu, 2010).

2.3.4. Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik

Proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar meliputi beberapa proses, diantaranya :

1. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen kimia lainnya dimana material mentah akan mengalami pemecahan stuktur kimia menjadi fase gas. Teknik seperti ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Proses pirolisis ini akan memecah hidrokarbon rantai karbon panjang dari polimer plastik menjadi rantai hidrokarbon berantai pendek, selanjutnya molekul-molekul ini didinginkan menjadi fase cair.
2. Distilasi adalah pemisahan campuran dalam suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didih. (Nasrun, 2015)

Rodiansono dkk (2017) melakukan perengkahan sampah plastik jenis polipropilena dari kemasan air mineral dalam reaktor pirolisis terbuat dari stainless steel, dilakukan pada temperatur 4750C 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.

2.3.5. 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 pirolisis 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.

Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai, sebagian besar menjadi karbon atau arang. Istilah lain dari pirolisis adalah "*destructive distillation*" atau destilasi kering. Produk dekomposisi termal yang dihasilkan melalui reaksi pirolisis komponen-komponen kayu adalah sebanding dengan jumlah komponen-komponen tersebut dalam kayu. Salah satu cara untuk meningkatkan efektivitas pengasapan yaitu dengan menggunakan asap cair yang diperoleh dengan cara pirolisis kayu atau serbuk kayu kemudian dilakukan kondensasi, sehingga diperlukan alat pirolisis yang menghasilkan produk yang optimal.

2.3.6. Penyambungan Alat Pirolisis Sampah Plastik

Alat pirolisator merupakan sarana pengolah limbah plastik menjadi bahan bakar minyak sebagai pengganti minyak bumi. Pada dasarnya sebelum melakukan penelitian dan membuat alat, terlebih dahulu rencanakan bentuk dan spesifikasi pada bahan yang akan dibuat untuk menjadikan suatu alat, khususnya alat pirolisator limbah plastik. Salah satu prosesnya adalah membuat dudukan tabung dan pengelasan sambungan pipa kondensor.

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:

1. Las Listrik

Las listrik adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan elektroda dan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Jenis sambungan dengan metode las ini merupakan sambungan tetap. Las listrik dalam proses pembuatan alat destilasi limbah plastik ini digunakan untuk pembuatan dudukan tabung reaktor dan tabung kondensor.

2. Las Asetelin

Las asetilen adalah pengelasan yang dilakukan dengan pencampuran dua jenis gas sebagai pembentuk nyala api dan sebagai sumber panas. Dalam metode pengelasan jenis ini yang digunakan adalah campuran dari gas oksigen dan gas lain sebagai gas bahan bakar. Las asetilen dalam proses pembuatan alat destilasi limbah plastik ini digunakan untuk pemasangan pipa sambungan, sok drat, serta pemasangan pipa kondensor jenis spiral.

BAB 3 METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di bengkel Wahyu Mas Kawasan Industri Medan (KIM) Kecamatan Medan Deli-Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian mulai bulan Februari 2020 sampai bulan Agustus 2020.

**Tabel 3.1.
Jadwal Perancangan Alat Pirolisis**

No.	Kegiatan	Bulan						
		Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
	Persiapan Perancangan							
1.	Pengajuan judul							
2.	Pengajuan proposal							
	Tahap Pelaksanaan							
1.	Pengumpulan data							
2	Analisa data							
	Pengolahan Pirolisis							
1	Perakitan Pirolisis							
2	Pembuatan Pirolisis							
	Penyusunan Laporan							

3.2. Alat dan Bahan

Dalam merancang suatu produk hendaknya dikumpulkan semua informasi tentang persyaratan atau *requirement* yang harus dipenuhi oleh produk tersebut. Maka untuk itu dapat dibuat suatu daftar persyaratan untuk menjelaskan secara lebih detail spesifikasi produk, sebelum produk tersebut dikembangkan lebih lanjut.

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah:

3.2.1.1. Kunci 30 dan ring pas

Berfungsi sebagai alat untuk membuka atau mengencangkan sebuah baut yang di gunakan.



Gambar 3.1. Kunci 30 dan Ring Pas

3.2.1.2. Baut kepala nepel model corong

Berfungsi sebagai baut penyambung tabung kondensor ke tabung reaktor kecil.



Gambar 3.2. Baut kepala nepel model corong

3.2.1.3. Baut nepel

Berfungsi sebagai penyambung baut nepel corong.



Gambar 3.3. Baut nepel

3.2.1.4. Alat press kepala selang

Berfungsi sebagai pembentuk kepala selang untuk baut nepel.



Gambar 3.4. Alat press kepala selang untuk nepel

3.2.1.5. Pegangan selang/penjepit selang

Berfungsi sebagai alat penjepit selang agar pada saat pembentukan kepala selang tidak bergeser sehingga selang lebih mudah untuk di bentuk kepalanya.



Gambar 3.5. Pegangan selang/penjepit selang

3.2.1.6. Pemotong selang

Berfungsi sebagai alat pemotong selang agar selang lebih mudah di potong dan lebih rapi.



Gambar 3.6. Pemotong selang

3.2.1.7. Grenda

Berfungsi sebagai alat pemotong atau mengasah ataupun menggerus benda kerja dengan tujuan atau kebutuhan tertentu.



Gambar 3.7. Grenda

3.2.1.8. Meteran

Berfungsi sebagai alat untuk mengukur panjang bahan yang akan di gunakan.



Gambar 3.8. Meteran

3.2.1.9. Plat 3 mm

Berfungsi sebagai bahan untuk tutup tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil.



Gambar 3.9. Plat 3 mm

3.2.1.10. Sarung tangan

Berfungsi sebagai alat pelindung diri agar menghindari dari hal-hal yang tidak diinginkan.



Gambar 3.10. Sarung tangan

3.2.1.11. Las asitelin

Berfungsi sebagai alat proses penyambungan logam dengan logam (pengelasan) yang menggunakan gas asitelin (C_2H_2) sebagai bahan bakar.



Gambar 3.11. Las astelin

3.2.1.12. Kawat las kuningan

Berfungsi sebagai penggabungan antara logam-logam



Gambar 3.12. Kawat las kuningan

3.2.1.13. Pembengkok selang

Berfungsi sebagai alat untuk pembengkok selang agar lebih mudah di bengkokkan dan hasil lebih bagus.



Gambar 3.13. Pembengkok selang

3.2.1.14. Tabung pereon

Berfungsi sebagai tabung reaktor besar atau tempat untuk pengolahan sampah plastik.



Gambar 3.14. Tabung pereon

3.2.1.15. Selang 1/2

Berfungsi sebagai penghubung antara tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil dan sebagai tabung kondensor.



.Gambar 3.15. Selang 1/2

3.2.1.16. Kawat las astelin

Berfungsi sebagai alat untuk penyambung logam-logam.



.Gambar 3.16. Kawat las astelin

3.2.1.17. Besi siku

Berfungsi sebagai penahan antara tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil agar tidak goyang



Gambar 3.17. Besi siku

3.2.1.18. Gunting plat

Berfungsi sebagai alat untuk memotong plat.



Gambar 3.18. Gunting plat

3.2.1.19. Pipa untuk memasukkan sampah

Berfungsi sebagai Pipa untuk memasukkan plastik ke tabung reaktor dan untuk membuang sisa sampah.



Gambar 3.19. Pipa

3.2.1.20. Selang penghubung

Berfungsi sebagai alat untuk menghubungkan antara tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil.



Gambar 3.20. Selang penghubung

3.2.1.21. Sampah plastik

Berfungsi sebagai bahan baku untuk pengolahan menjadi bahan bakar minyak



Gambar 3.21. Sampah plastik

3.2.1.22. Kompor gas 2 tungku

Berfungsi sebagai alat untuk memanasi peralatan dapur atau bahan yang akan di panaskan.

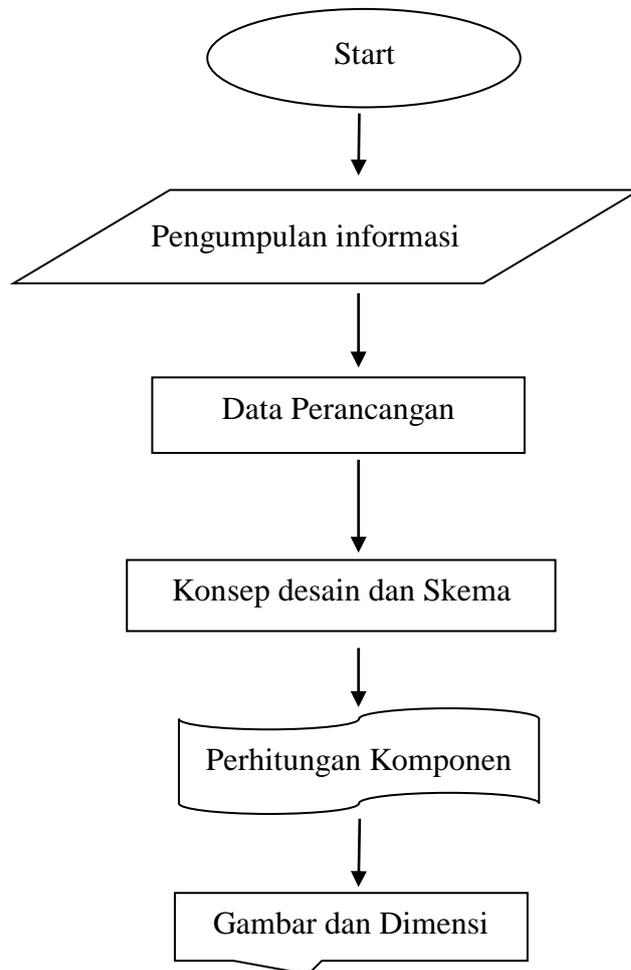


Gambar 3.22. Kompor gas 2 tungku

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampah plastik. Sampah plastik merupakan bahan yang banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari. Ketika plastik sudah tidak digunakan lagi, maka akan dibuang oleh penggunanya. Plastik sendiri terdiri dari berbagai jenis yaitu *Low Density Poly Ethylene* (LDPE), *Poly Propylene* (PP), *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Poly Vinyl Cloride* (PVC), *Poly Ethylene Terephtalate* (PET), Polyethylene (PE), Polystyrene (PS), *Acrylonitril Butadiene Styrene* (ABS) dan *Styrofoam*. Dalam tumpukan sampah berbagai jenis plastik tersebut dapat dengan mudah ditemukan. Penelitian ini menggunakan sampah plastik jenis *Low Density Polyetylene* (LDPE) dan *High Density Polyetylene* (HDPE) dikarenakan plastik jenis ini tersimpan kandungan C dan H yang bisa dikonversikan menjadi bahan bakar.

3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.23 : Diagram Alir Penelitian

Flow chart berdasarkan gambar 3.23. di atas menggambarkan tahapan-tahapan pengerjaan perancangan pirolisis dimulai dari pencarian literatur sampai gambar.

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.

3.4.1. Reaktor

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. Tutup tabung berfungsi sebagai tutup yang memungkinkan tidak terjadinya pertukaran udara didalam tabung. *Thermocouple* berfungsi sebagai pembaca temperature di dalam tabung pirolisis selama proses berlangsung. Pipa *output* berfungsi sebagai saluran keluar uap hasil pirolisis yang akan menuju kondensor.

3.4.2. Pengujian alat

Bahan yang digunakan didalam penelitian ini adalah sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE), berupa kantong kresek, plastik pembungkus daging, dan jenis plastik tipis lainnya. Sebelum dipergunakan, sampah plastik dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dipilah dari pengotor tanah lalu dipotong-potong dalam ukuran tertentu dan ditimbang. Sampah plastik yang telah dikeringkan dan dipilah dari zat pengotor, dipotong kecil-kecil. Kemudian ditimbang dengan berat awal 1000 gram. Masukkan sampah plastik kering seberat 1000 gram ke dalam reaktor. Pemanas reaktor dijalankan dan dengan variasi suhu 300°C, 500°C, dan 700°C. Setelah mencapai suhu yang ditentukan, maka saat itu waktu mulai dihitung dan setelah mencapai waktu satu jam, minyak hasil proses pirolisis ditimbang dan diujihasilnya.

3.5. Proses Pembuatan Alat Pirolisis

Ada beberapa tahapan dalam melakukan proses pirolisis pada penelitian ini, diantaranya :

1. Mengumpulkan bahan pirolisis sampah kantong plastik atau plastik kresek dengan warna campuran.
2. Membersihkan sampah kantong plastik dari kotoran tanah maupun yang lain dan mengeringkannya jika kantong plastik terdapat air.
3. Menimbang sampah kantong plastik sesuai dengan kapasitas reaktor (2 kg).

4. Memasukkan sampah kantong plastik yang sudah ditimbang ke dalam reaktor dengan memadatkannya

3.6. Komponen Alat Pirolisis

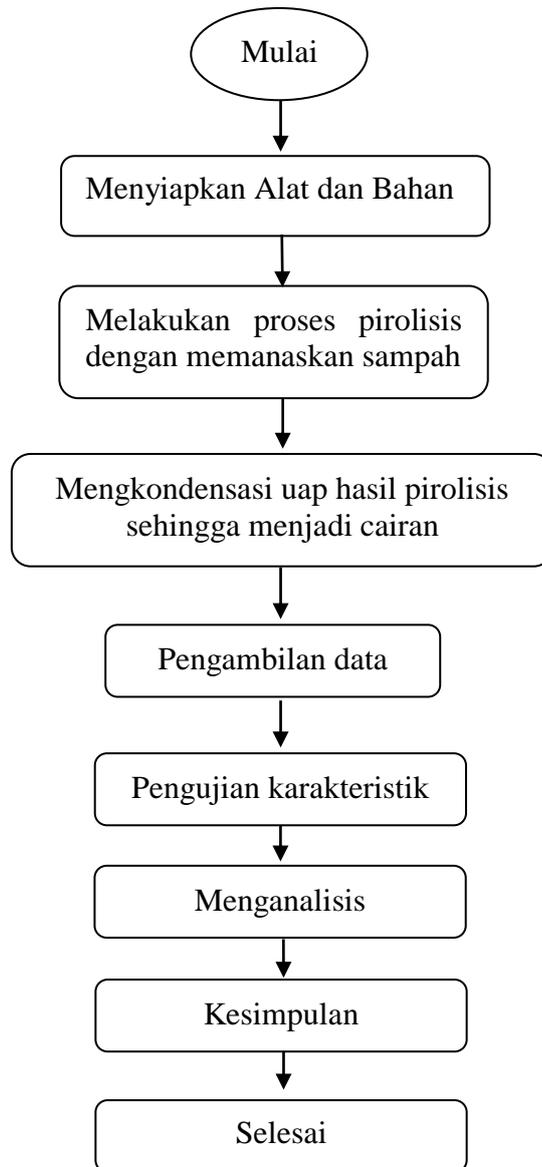
Bahan dan perlengkapan alat yang dipersiapkan harus menyesuaikan komponen yang akan dibuat. Beberapa tahapan dalam pembuatan alat pirolisis :

1. Pembuatan kerangka alas penopang dengan dimensi yang sudah ditentukan sesuai desain. Komponen ini berfungsi untuk tempat atau wadah penopang reaktor dan kondensor, dengan adanya alas penopang ini dapat mempermudah dalam memindahkan alat pirolisis dan alas penopang tersebut juga dilengkapi dengan roda sehingga dapat mempermudah dalam memindahkan alat pirolisis. Bahan yang digunakan dalam pembuatan alas penopang menggunakan bahan plat besi berbentuk kotak dengan ketebalan plat 0,6 mm.
2. 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.
3. Pembuatan kondensor udara dan kondensor air, bahan yang digunakan sama dengan bahan tabung reaktor yaitu *stainless steel 300* dengan ketebalan 0,5mm. Kondensor udara dan kondensor air ini didesain berbentuk tabung dengan ukuran masing –masing yang berbeda.

3.7. Penyambungan Alat Pirolisis

Penyambungan antar komponen, penyambungan antar komponen dilakukan dengan mengelas ujung pipa ke tabung reaktor dan ujung pipa lain ke kondensor. Selanjutnya, Proses uji coba alat dengan mengujinya melalui proses pirolisis dengan suhu 200 derajat celsius. Proses ini dilakukan untuk melihat kinerja alat dan untuk mengetes kebocoran yang ada. *Finishing*, proses penghalusandan pengecatan pada alat pirolisis.

3.5. Prosedur Penelitian



Gambar 3.24 Alur prosedur penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Bahan baku

Bahan yang digunakan didalam penelitian ini adalah sampah plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE). Sebelum dipergunakan, sampah plastik dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dipilah dari pengotor tanah lalu dipotong-potong dalam ukuran tertentu dan ditimbang.

4.1.2. Proses pembuatan alat pirolisis sampah plastik

Proses pemotongan besi siku untuk penahan antara tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil dengan menggunakan mesin gerinda dengan ukuran panjang besi siku 20 cm



Gambar 4.1. Proses pemotongan besi siku

Proses pembengkokan selang ini berfungsi untuk selang penghubung antara tabung reaktor besar dan Tabung reaktor kecil seperti pada gambar 4.2



Gambar 4.2. Proses pembengkokan selang penghubung

Proses pemotongan pipadengan menggunakan mesin gerinda dengan menggunakan mata gerinda potong dengan ukuran panjang pipa 30 cm



Gambar 4.3 Proses pemotongan pipa

Dengan proses pemotongan ini menggunakan mesin gerenda dan untuk membuang bagian bawah tabung pereon agar di gantikan dengan plat yang rata.



Gambar 4.4. Proses pemotongan tabung pereon

Proses pengguntingan platuntuk tabung reaktor besar plat ini berfungsi agar tabung reaktor besar lebih mudah dan tidak goyang-goyang saat Diletakkan di atas tungku kompor gas, pemotongan ini menggunakan gunting plat, seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Proses pengguntingan plat

Proses pemotongan plat untuk tabung reaktor kecil Plat ini berfungsi sebagai penutup lobang agar pipa tidak dalam keadaan bocor atau berlobang Pemotongan ini menggunakan gunting khusus plat, seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. pemotongan plat untuk tabung reaktor kecil

Proses pengelasan tutup tabung reaktor kecil tutup ini berfungsi agar bisa menahan supaya tidak terjadi kebocoran pada tabung reaktor kecil dengan menggunakan las asitelin C_2H_2 sebagai alat untuk penyambungan logam, seperti terlihat dalam gambar 4.7.



Gambar 4.7. Proses pengelasan tutup tabung reaktor kecil

Pembuatan lobang untuk memasukan plastik ke tabung reactor besar lobang ini berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan sampah plastik kedalam tabung reaktor besar dan tempat untuk membuang sisa seperti yang terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Pembuatan lobang untuk memasukan plastik ke tabung reaktor

Pembuatan lobang untuk tabung reaktor kecil proses pembuatan lobang ini berfungsi untuk lebih mudah membuang sisa pembakaran dari bakaran sampah plastik yang telah di bakar, seperti gambar 4.9.



Gambar 4.9. Pembuatan lobang untuk tabung reaktor kecil

Pengelasan untuk tutup tabung reaktor kecil proses pengelasan tutup lubang ini berfungsi sebagai untuk membuang sisa pembakaran yang berada di dalam tabung reaktor kecil, seperti yang terlihat paada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Pengelasan untuk tutup tabung reaktor kecil

Proses pembengkokan selang penghubung tabung reaktor besar ke tabung reaktor kecil Berfungsi sebagai alat sirkulasi minyak dengan proses pembengkokan alat pembengkok selang, seperti yang terlihat paada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Proses pembengkokan selang penghubung

Proses pengelasan selang penghubung antara tabung selang penghubung ini berfungsi sebagai pengaliran minyak tabung reaktor besar ke tabung reaktor kecil, seperti yang terlihat paada gambar 4.12.



Gambar 4.12. Proses pengelasan selang penghubung antara tabung

Proses pengelasan selang penghubung selang penghubung ini berfungsi sebagai pengaliran minyak dari tabung reaktor besar ke tabung reaktor kecil, seperti yang terlihat paada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Proses pengelasan selang penghubung

Proses pengelasan tabung kondensor tahap 1 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 tahap 1

Proses pengelasan tabung kondensor tahap 2 berfungsi sebagai alat untuk pendingin dengan menggunakan air agar minyaky keluar tidak terlalu panas dengan proses pengelasan menggunakan las asitelin C_2H_2 sebagai alat untuk penyambung logam-logam seperti yang terlihat paada gambar 4.15.



Gambar 4.15. Proses pengelasan tabung kondensor tahap 2

Proses pengelasan tabung kondensor tahap 3 berfungsi sebagai alat untuk pengaliran minyak setelah di lakukan pendinginan di tabung kondensor dengan proses pengelasan menggunakan las asitelin C_2H_2 sebagai alat untuk penyambung logam-logam, seperti yang terlihat paada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Proses pengelasan tabung kondensor tahap 3

Proses pengelasan besi siku sebagai penahan besi siku yang di las berfungsi sebagai penahan antar tabung reaktor besar dan tabung reaktor kecil agar tidak goyang atau bergeser, seperti yang terlihat paada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Proses pengelasan tabung kondensor tahap 4

Proses pengelasan penahan antara tabung reaktor besar ke tabung reaktor keci berfungsi sebagai alat untuk penahan antara tabung reaktor besar dengan tabung reaktor kecil proses pengelasan menggunakan las asitelin C_2H_2 sebagai alat untuk penyambungan seperti yang terlihat paada gambar 4.18.



Gambar 4.18. Pengelasan penahan antara tabung

4.1.3. Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik dengan Reaktor Ganda

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain:



Gambar 4.19. Tabung reaktor

Pada Gambar 4.19 terlihat tabung reaktor pada pirolisis merupakan salah satu bagian utama yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pirolisis. Bagian-bagian pada reaktor pirolisis berupa tabung pemanasan (menggunakan bahan *stainless steel* dengan diameter 20 cm dan tinggi 30 cm yang mampu menahan tekanan kerja 2-3 bar, dan dilengkapi *prison gate*, *pressure gauge*, dan *safety valve* untuk keperluan analisa).



Gambar 4.20. Kompor gas saat pengujian

Berdasarkan Gambar 4.20. Kompor gas atau tabung elpiji digunakan sebagai sumber panas untuk reaktor.



Gambar 4.21 Tabung kondensor

Berdasarkan Gambar 4.21, fungsinya tabung kondensor sering digunakan untuk mengembunkan uap menjadi cairan. Kondensor yang bekerja dengan prinsip perpindahan panas akan memindahkan panas dari satu fluida ke fluida lainnya. Di dalam kondensor terjadi dua proses perpindahan panas yaitu perpindahan panas secara konduksi dan secara konveksi. Konduksi panas terjadi dari fluida panas yang memindahkan panasnya ke fluida dingin melalui perantara dinding kondensor. Konveksi panas terjadi dari perpindahan panas aliran yang dilakukan oleh aliran fluida kerja kondensor.



Gambar 4.22. Minyak mentah

Berdasarkan Gambar 4.22. hasil pirolisis dari sampah plastik menjadi minyak mentah hasil pirolisis karena belum diuji laboratorium.

Secara keseluruhan, alat hasil perancangan terdiri dari 3 bagian utama yaitu tabung reaktor, tabung gas elpiji dan tabung kondensor. Namun terdapat komponen-komponen lain yang terdapat pada alat yang memiliki fungsi tersendiri.

Rancangan fungsional dihasilkan dari pertimbangan yaitu fungsi utama dari reaktor adalah sebagai tempat di mana proses pirolisis terjadi. Gas dari hasil proses pirolisis ditangkap dan dikondensasi untuk memperoleh minyak hasil dari proses pirolisis plastik dengan bantuan kondenser. Minyak hasil proses pirolisis plastik ditampung di dalam gelas kaca dan residu hasil dari proses yang terdapat di dalam reaktor dikeluarkan dengan plat *unloading* yang tersedia dibagian bawah reaktor. Proses pengeluaran plat *unloading* dibantu dengan menggunakan tongkat pengait yang berfungsi mengkaitkan plat sehingga plat dapat diangkat dengan mudah.

Proses pirolisis plastik di dalam reaktor dibantu dengan menggunakan pemanas (*heater*) milik bengkel Wahyu Mas Kawasan Industri Medan (KIM).

Tabel 4.1. Komponen-komponen Reaktor Pirolisis Plastik

No.	Komponen alat	Fungsi
1.	Pemanas (<i>heater</i>)	Berfungsi sebagai sumber penghasil panas dengan memanfaatkan energi listrik. Pemanas dilengkapi dengan <i>insulasi ceramic silicone</i> sebagai media isolator untuk mengurangi panas yang dihasilkan pemanas terbuang ke lingkungan sehingga membantu proses kerja dari pemanas tersebut.
2.	Pipa kondensor	Pipa yang berfungsi pengembunan. Sebab refrigerant yang dipompa dari kompresor dan mengalir ke pipa kondensor akan mengalami pengembunan. Setelah refrigerant berubah menjadi zat cair karena pengembunan tersebut selanjutnya zat cair itu akan mengalir ke pipa evaporator.
3.	Kondensor	Tempat di mana gas hasil proses pirolisis mengalami kondensasi dan gas berubah fase menjadi cairan.
4.	Reaktor	Tempat di mana sampah plastik bekas akan mengalami proses pirolisis. Reaktor dilengkapi dengan tutup reaktor yang dapat dikunci sehingga gas hasil proses pirolisis tidak keluar. Pada tutup reaktor dilengkapi dengan <i>klingrit sealer gasket</i> untuk mencegah gas proses pirolisis keluar dari sela antara reaktor dengan tutup reaktor.
5.	Lubang termokopel	Lubang termokopel ditempatkan pada badan reaktor searah sumbu y, berfungsi sebagai tempat peletakan termokopel pada proses

		pirolisis berlangsung. Lubang termokopel dilengkapi dengan drat sebagai pengunci antara termokopel dengan reaktor sehingga gas pirolisis tidak keluar saat proses pirolisis berlangsung.
6.	Plat <i>unloading</i> residu	Berfungsi sebagai wadah residu dan dapat diangkat ketika proses pirolisis plastik telah selesai dilakukan untuk mengeluarkan residu hasil pirolisis. Plat <i>unloading</i> dilengkapi dengan tongkat pengait untuk membantu proses pengangkatan plat <i>unloading</i> tersebut.
7.	Lubang <i>outlet</i> gas	Berfungsi sebagai tempat keluarnya gas hasil pirolisis. Lubang <i>outlet gas</i> terhubung langsung dengan kondenser yang dihubungkan dengan <i>double niple</i> sehingga proses instalasi antara reaktor dan kondenser berjalan dengan mudah.
8.	Tabung pereon	Pereonatau refrigerant adalah senyawa kimia atau gas yang biasanya digunakan sebagai fluida untuk menyerap beban pendingin ruangan atau tempat-tempat lain yang ingin dikondisikan suhu udaranya.

Setelah proses perancangan kemudian dilakukan proses penelitian Hasil perancangan petroliasi sampah plastik dengan komposisi menggunakan pipa pertama dengan diameter 8 cm/90%/20 cm, pipa kedua dengan menggunakan dengan diameter 12 cm/90%/43 cm dan pipa ketiga dengan diameter 17,5 cm/90%/57 cm. Terdapat perbedaan diameter pada hasil perancangan pipa perbedaan diameter tersebut diakibatkan ketersediaan bahan pada saat proses pembakaran dan biaya pembuatan reaktor.

Pada bagian atas reaktor dilengkapi dengan *flange* sebagai tempat untuk menaruh baut pengunci tutup reaktor. *Flange* yang dibuat dengan lebar 5 cm dari diameter luar reaktor dengan ketebalan 5 mm. Tutup reaktor hasil rancangan memiliki dimensi dengan diameter 0.41 m dengan ketebalan 5 mm. Pada bagian bawah tutup reaktor dilengkapi dengan *klingrit sealer gasket* yang berfungsi untuk mencegah kebocoran gas selama proses pirolisis berlangsung. *Klingrit sealer gasket* memiliki ketebalan dengan 5 mm. Celah antar *klingrit sealer gasket* dan tutup diselimuti dengan *high temp seal*. Tutup reaktor memiliki lubang keluaran (*outlet*) gas yang terbuat dari *double naple* dengan bahan kuningan dengan ukuran 3/8 inch.

4.2. Pembahasan

Tahap pembuatan minyak pirolisis, diawali dengan pemilahan limbah plastik, kemudian memotong limbah plastik dengan mesin perajang plastik menjadi ukuran yang lebih kecil. Lalu mencuci dan mengeringkan limbah plastik yang telah dipotong.

Proses pembuatan minyak pirolisis ini melalui proses pirolisis dengan variasi temperatur kondensasi, yaitu 26°C dan 17°C. Pada variasi pertama menggunakan temperatur pemanasan berkisar 563,6°C hingga 703,4°C, dan pada variasi kedua menggunakan temperatur pemanasan berkisar 587,5°C hingga 726,2°C, yangkemudian akan dibandingkan lamanya waktu dan temperatur pemanasan terhadap kapasitas minyak pirolisis limbah plastik yang dihasilkan. Limbah plastik yang sudah dipotong dan kering ini dimasukkan pada tabung reaktor pirolisis, di mana akan mengalami proses pemanasan dengan menyalakan burner yang bahan bakarnya berasal dari gas elpiji 3 kg, di mana terjadi perubahan wujud dari padat ke gas (menyublim). Dengan menyalakan pompa air, sehingga dapat memompakan air dari kontainer yang berisikan air ke kondenser sebagai pendingin pada tabung reaktor, yang disebut proses *liquification*, di mana merupakan proses perubahan wujud dari gas ke cair dengan proses kondensasi (pendinginan). Pada tahap *liquification* ini dilakukan destilasi atau penyulingan pada kondenser agar menghasilkan minyak pirolisis yang lebih jernih. Kemudian

akan dihasilkan minyak pirolisis berupa asap cair yang dapat ditampung dalam gelas ukur.

Tahap pengujian, meliputi uji nilai *viskositas*, *densitas*, nilai kalor, *flash point*, kandungan sulfur, dan angka setana, perhitungan efisiensi reaktor pirolisis. *Cetane index* atau *indekssetana* merupakan kualitas penyalaan dalam bahan bakar solar yang berhubungan dengan kelambatan penyalaan yang bergantung pada komposisi bahan bakar. Angka setana yang tinggi menggambarkan *autoignition* (Kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya) yang cepat dari bahan bakar motor diesel/minyak solar.

Viskositas kinematik adalah pengukuran berdasarkan aliran fluida cair yang mengalir dengan volume tetap dengan aliran gravitasi melewati *viscometer kapiler*. Viskositas sangat menentukan dalam pengkabutan. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak

Penelitian untuk membuat bahan bakar minyak dari limbah plastik diawali dengan perancangan reaktor pirolisis. Reaktor pirolisis ini berbahan dasar *stainless steel*, yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu tabung pemanasan, tabung destilasi, dan condenser. Komponen pertama pada reaktor pirolisis, yaitu tabung pemanasan yang dilengkapi dengan *prison gate*, *pressure gauge*, dan *safety valve* dan terdiri dari pipa penghubung dengan panjang 86 cm di mana berfungsi sebagai konektor dengan tabung destilasi.

Hasil percobaan pertama digunakan temperatur kondensasi 26° dihasilkan minyak sebesar 3195 ml dalam waktu 129 menit dengan waktu penyulingan awal pada menit ke 21 pada temperatur yang diberikan kompor, yaitu 630,9°C. Sedangkan pada percobaan kedua digunakan temperatur kondensasi 17°C dihasilkan minyak sebesar 2115 ml dalam waktu 210 menit dengan waktu penyulingan awal pada menit ke 30 dengan temperatur yang diberikan kompor, yaitu 606,2°C. Perbedaan waktu pemanasan dari setiap variasi temperatur kondensasi pada percobaan dikarenakan pada percobaan pertama, di mana waktu pemanasan lebih cepat dari percobaan kedua, temperatur pada tabung pemanasan semakin tinggi yang tidak diimbangi temperatur pendinginan (kondenser)

sehingga menyebabkan temperatur minyak yang dihasilkan sangat tinggi dan pada menit ke 150 menit sudah tidak dilakukan pemanasan lagi. Sedangkan pada percobaan kedua yang dapat melakukan proses pemanasan lebih lama, dibandingkan percobaan pertama dan kedua dikarenakan telah diperoleh temperatur kondensasi optimal pada saat pemanasan.

Apabila ditinjau dari karakteristik keseluruhan yang dihasilkan, diperoleh hasil spesifikasi yang belum sesuai dengan bahan bakar premium dan solar/biosolar, karena flash point yang terlalu rendah dapat berbahaya jika digunakan dalam mesin dan penyimpanan sedangkan nilai viskositas dan densitas yang terlalu rendah dapat menyebabkan gesekan (*abrasive*) dalam ruang bakar sehingga mengakibatkan pelumasan yang kurang baik. Namun jika ditinjau dalam pembakaran, hasil pengujian bahan bakar minyak pirolisis ini sudah sesuai, dikarenakan selain memiliki angka setana, nilai kalor, dan kandungan sulfur yang baik, nilai viskositas, densitas, dan flash point yang rendah ini memungkinkan untuk pembakaran yang cepat pada mesin. Hanya perlu dilakukan pengaturan temperatur yang sesuai dalam penyimpanan bahan bakar hasil pirolisis limbah plastik

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- a. Reaktor yang dirancang berfungsi sebagai *experimental set-up* untuk mendapatkan data sebaran suhu yang diperlukan pada pemodelan simulasi CFD, reaktor yang dirancang memiliki bagian-bagian utama yaitu tutup reaktor, kondenser, plat *unloading* pada bagian dasar reaktor yang dilengkapi dengan tongkat pengait, dan pemanas (*heater*).
- b. Pada uji kinerja reaktor, minyak plastik yang dihasilkan akan semakin banyak jika suhu pemanasan semakin tinggi. Namun pada penelitian ini minyak yang dihasilkan sebanyak 2115 ml pada suhu 606,2°C dengan waktu 55 menit hingga 60 menit.
- c. Ditinjau dari karakteristik keseluruhan yang dihasilkan, diperoleh hasil spesifikasi yang belum sesuai dengan bahan bakar premium dan solar/biosolar, karena flash point yang terlalu rendah dapat berbahaya jika digunakan dalam mesin dan penyimpanan sedangkan nilai viskositas dan densitas yang terlalu rendah dapat menyebabkan gesekan (*abrasive*) dalam ruang bakar sehingga mengakibatkan pelumasan yang kurang baik.

5.2. Saran

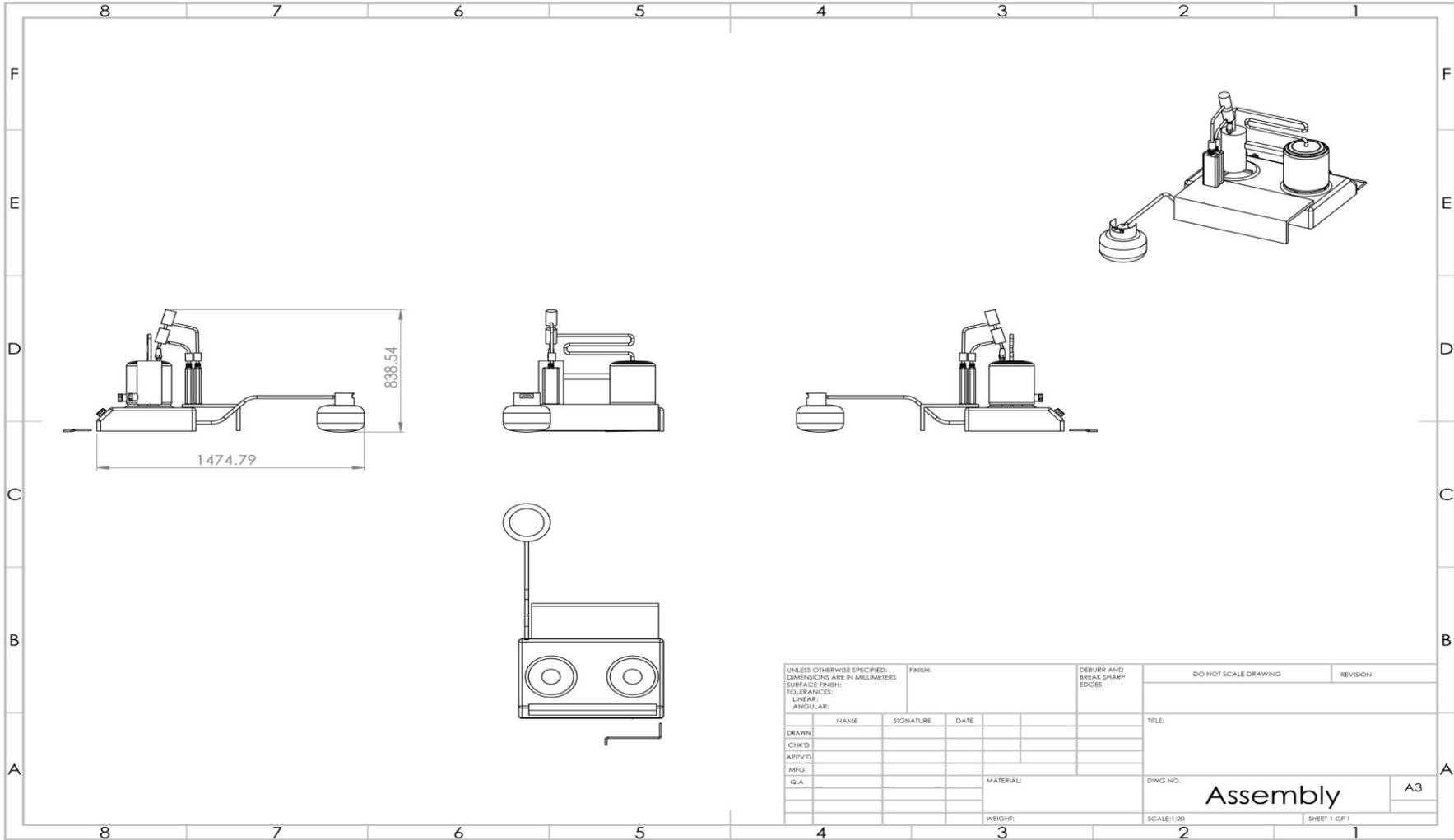
- a. Ketebalan reaktor yang harus dikurangi serta proses insulasi perlu ditingkatkan untuk meningkatkan efisiensi pemanasan.
- b. Proses pirolisis yang terjadi sebaiknya pirolisis cepat, sehingga produk minyak yang dihasilkan lebih banyak. Hal tersebut dapat terpenuhi dengan cara memperbaiki kinerja pemanas (*heater*) dan memperbaiki sistem pengontrolan suhu.
- c. Harus lebih diperhatikan dan lebih mendetail sesuai dengan tujuan yang akan dicapai terhadap penggunaan reaktor untuk memproses sampah plastik menjadi solar dan premium dalam proses pirolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I , Khan, M. I., Khan, H., Ishaq, M., Tariq, R., Gul, K dan Ahmad, W. (2014). *Pyrolysis Study of Polypropylene and Polyethylene in to Premium Oil Products. International Journal of Green Energy*. DOI: 10.1080/15435075.2014.880146.
- Agra, I.B. , Wamijati, S. dan Pudjianto, B. (1973). *Hidrolisis Pati dari Ketela Rambut pada Suhu lebih dari 100 Celcius*. Forum Teknik : 115-129.
- Al-Salem, S.M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., Dutta, A. (2017). *A Review on Thermal And Catalytic Pyrolysis of Plastic Solid Waste (PSW). Journal of Environmental Management*.
- Awaluddin, A., (2007), *Proses Pencairan Langsung Biomassa menjadi Bio Oil dengan Menggunakan Thermo Oil*, Proposal I Mhere Project, Universitas Riau.
- Azharman, Zefri., Meldra, Delia., Mardiansyah, Yopy dan Damanik, Yan Mahesa. (2019). *Usulan Perancangan Reaktor Pirolisis Pengubah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak*. Snistek Institut Teknologi Batam.
- Basu, Prabir. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press. Elsevier.
- Brown, Timothy A., (2006). *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research*. New York: Guilford.
- Budhijanto. (1993), *Pirolisis Serbuk Gergaji Cetak Secara Semibatch*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Cahyono, M. Sigit. (2013). *Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan. Volume 5. Nomor 2.
- Chiwara, B., Makhura, E., Danha, G., Bhero, S., Muzenda, E., dan Aghaci, P. (2017). *Pyrolysis of Plastic Waste Into Fuel And Other Products. Proceedings Sardinia/Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium/ Margherita di Pula, Cagliari, Italy*.
- Ciolkosz, Daniel. (2011). *A Review of Torrefaction For Bioenergy Feedstock Production. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons. Ltd*.
- Demirbas, A., et all. (2009). *Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials*. Energy Sources, Part A, V. 31, P, 1186–119.
- Encinar, J. M., Gonzalez, J.F., Martinez, G., and Roman, S. (2009). *Jerusalem Artichoke Pyrolysis: Energetic Evaluation. Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*. 85, 294–300.
- Evans, R., (2004). *Options For Renewable Hydrogen Technologies*. Energy and Agricultural Carbon Utilization.86,304–309. Bailis, R.,Ogle, D., Maccarty,
- Goenadi, Didiek Hadjar dan Santi, Laksmi Prima. (2017). *Kontroversi Aplikasi dan Standar Mutu Biochar*. Jurnal Sumberdaya Lahan Volume 11. Nomor 1.
- Hadi, Abdul. (2014). *Desain Instalasi Pirolisis Limbah Pertanian Dalam Rangka Minimalisasi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Lahan Basah*. Prosiding SNST. Fakultas Teknik. Universitas Wahid Hasyim. Semarang .
- Islam, M. Saiful., et al, (2010). *Production of Bio-Oil from Municipal Solid Waste*. Bangladesh J. Sci. In, V. 45, P. 91-94.

- Kasim, Fadli. (2018). *Pengolahan Sampah Plastik Memakai Teknologi Pirolisis Untuk Pembelajaran dan Konservasi Lingkungan di Pondok Pesantren Al-Anwar Sarang Rembang, Jawa Tengah*. Jurnal Bakti Saintek. Volume 2, Nomor 2.
- Karlsson, Josefine. (2013). *Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn, Gotland. Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden*.
- Kristy, M., (2007). *Biooils: Feedstocks, Process and Potential for Synthetic Diesel*, BBI International, Colorado.
- Kumar, S dan Singh, R. K. (2011). *Recovery of Hydrocarbon Liquid from Waste High Density Polyethylene by Thermal Pyrolysis*. Brazilian Journal of Chemical Engineering.
- Landi, Taufan dan Arijanto. (2017). *Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Pelastik Jenis LDPE (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 5. Nomor 1.
- 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.
- Lubis, Ahmad, dkk. (2017). *Rancang Bangun Mesin Pengolahan Sampah Plastik High Density Polyethelene Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis*. Jurnal Kajian Teknik Mesin. Volume 2. Nomor 2.
- Mokhtar, Ali, Jufri, Moh dan Supriyanto, Herry. (2018). *Perancangan Pirolisis Untuk Membuat Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Kapasitas 10 Kg*. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA).
- Naimah, S., dan Aidha, N. (2017). *Karakteristik Gas Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik Polietilena (PE) dengan Menggunakan Katalis Residue Catalytic Cracking (RCC)*. Jurnal Kimia dan Kemasa.
- Nasrun, dkk. (2015). *Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Metode Pirolisis*. Jurnal Energi Elektrik. Volume IV. Nomor 1.
- Nurhayati. Viridi, Sparisoma. Purba, Anjar. Asmara dan Aina, Zuhra. (2018). *Rancang Bangun Alat Pirolisis Sederhana untuk Mengolah Limbah Plastik Polipropilena (PP) menjadi Bahan Bakar Cair (BBC)*. Jurnal Prosiding Snips.
- Ohliger, Andreas. (2012). *Torrefaction of beechwood: A Parametric Study Including Heat of Reaction and Grindability*. Fuel Journal.
- Raihan, Raudhatul. (2018). *Alat Reaktor*. <http://myteknikkimiablogaddress.blogspot.com/2018/01/alat-reaktor.html>, diakses tanggal 5 April 2020.
- Ramadhan P. Aprian dan Ali, Munawar. (2014). *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Volume 4. Nomor 1.
- Rodiansono, Trisunaryanti, W., dan Triyono, (2017). *Pembuatan dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik menjadi Fraksi Bensin*, Jurnal Berkala. Volume 17. Nomor 2.
- Senthilkumar, M. (2015). *Phytochemical Screening of Bioactive Compounds from Pleurotus ostreatus (JACQ.FR) KUMM., -an Wild Edible Mushroom*. World Journal of Pharmaceutical Research, 4(5), 1603–1618.
- Sridhar, G. (2007). *Torrefaction of Bamboo*. European Biomass Conference & Exhibition. Berlin Germany.

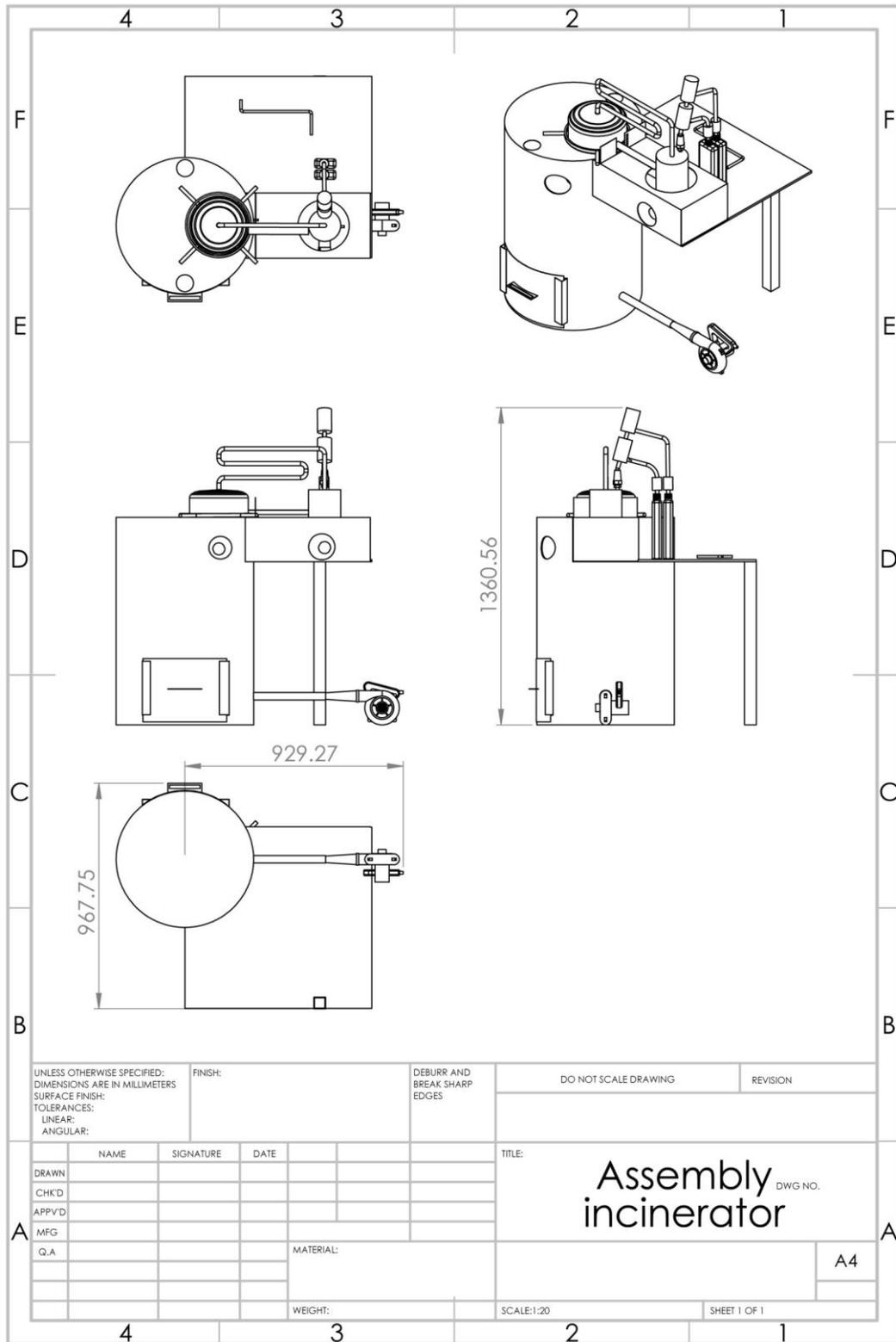
- Surono, Untoro Budi. (2013). *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Jurnal Teknik. Volume 3. Nomor 1.
- Tjokrowisastro, E. H., dkk. (1990). *Teknik Pembakaran Dasar Dan Bahan Bakar*. Diktat ITS-Surabaya.
- Tumuluru, J.S. (2011). *Review on Biomass Torrefaction Process and Product properties and Design of Moving Bed Torrefaction System Model Development*. ASABE Annual International, Meeting, Louisville. Kentucky.
- Ulrich, K. T., dan Eppinger, S.D. (2001). *Perancangan dan Pengembangan Produk*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Wibowo, Adityo Suryo Aji. (2011). *Studi Sifat Minyak Pirolisis Campuran Sampah Biomassa dan Sampah Plastik Polypropylene (PP)*, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Yusrizal dan Idris, Muhammad. (2016). *Pengujian Pirolisis Kayu dengan Metode Hampa Udara Untuk Memproduksi Bahan Bakar Gas*. Jurnal Inotera Volume 1. Nomor 1.

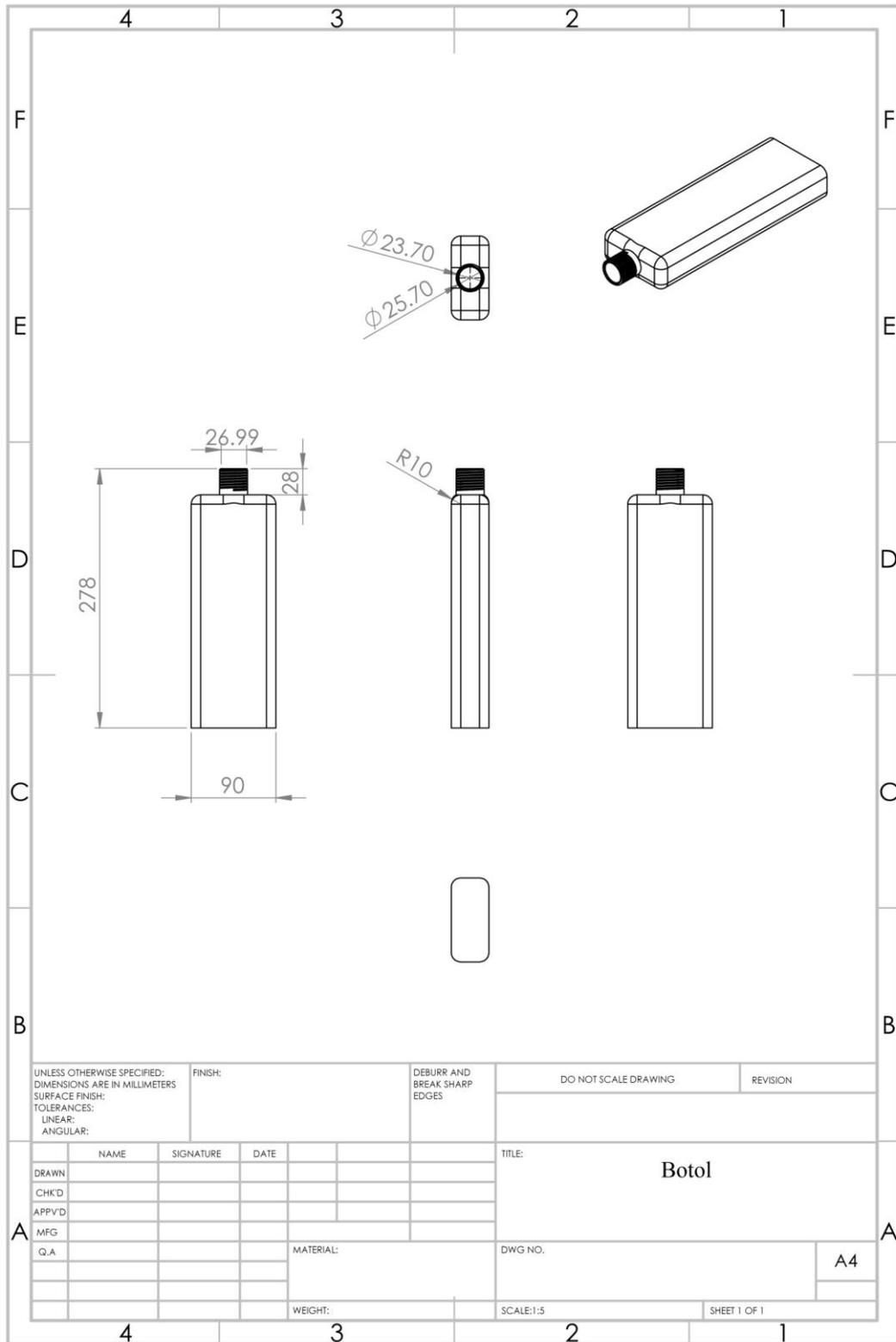


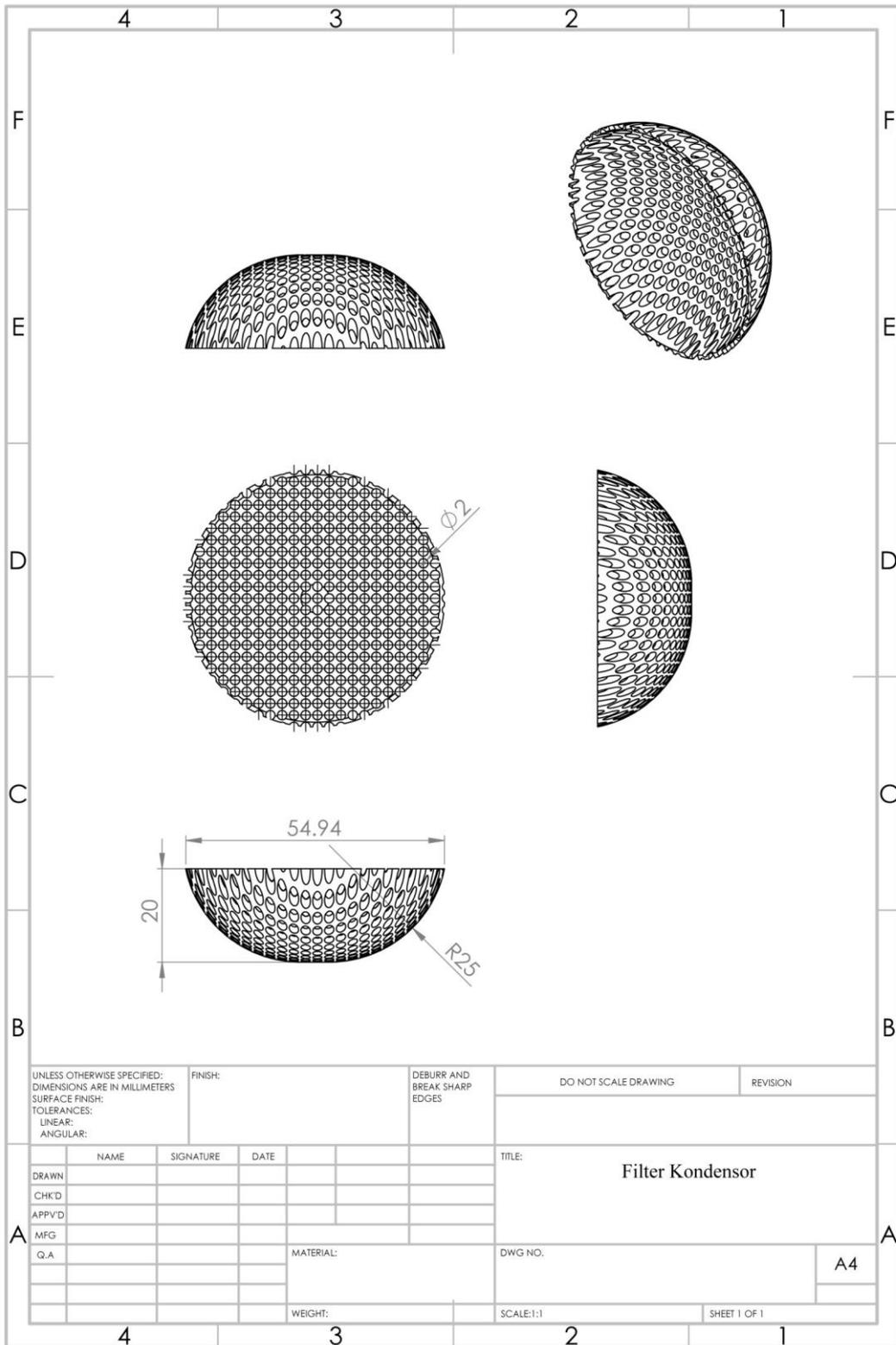
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
CHK'D						
APP'VD						
MPG				MATERIAL:	DWG NO.	
Q.A.				WEIGHT:	SCALE: 1:20	
						SHEET 1 OF 1

Assembly

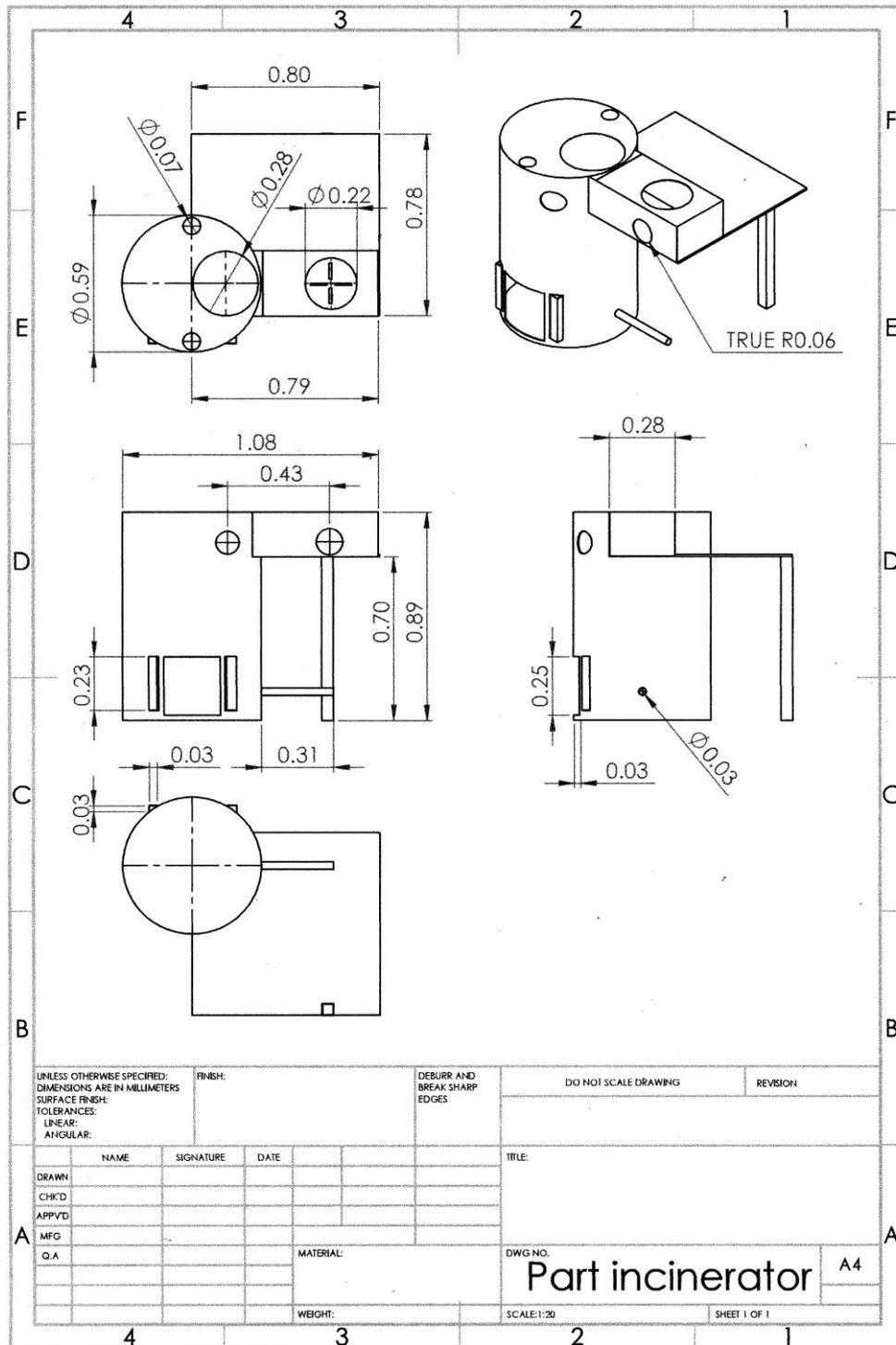
A3



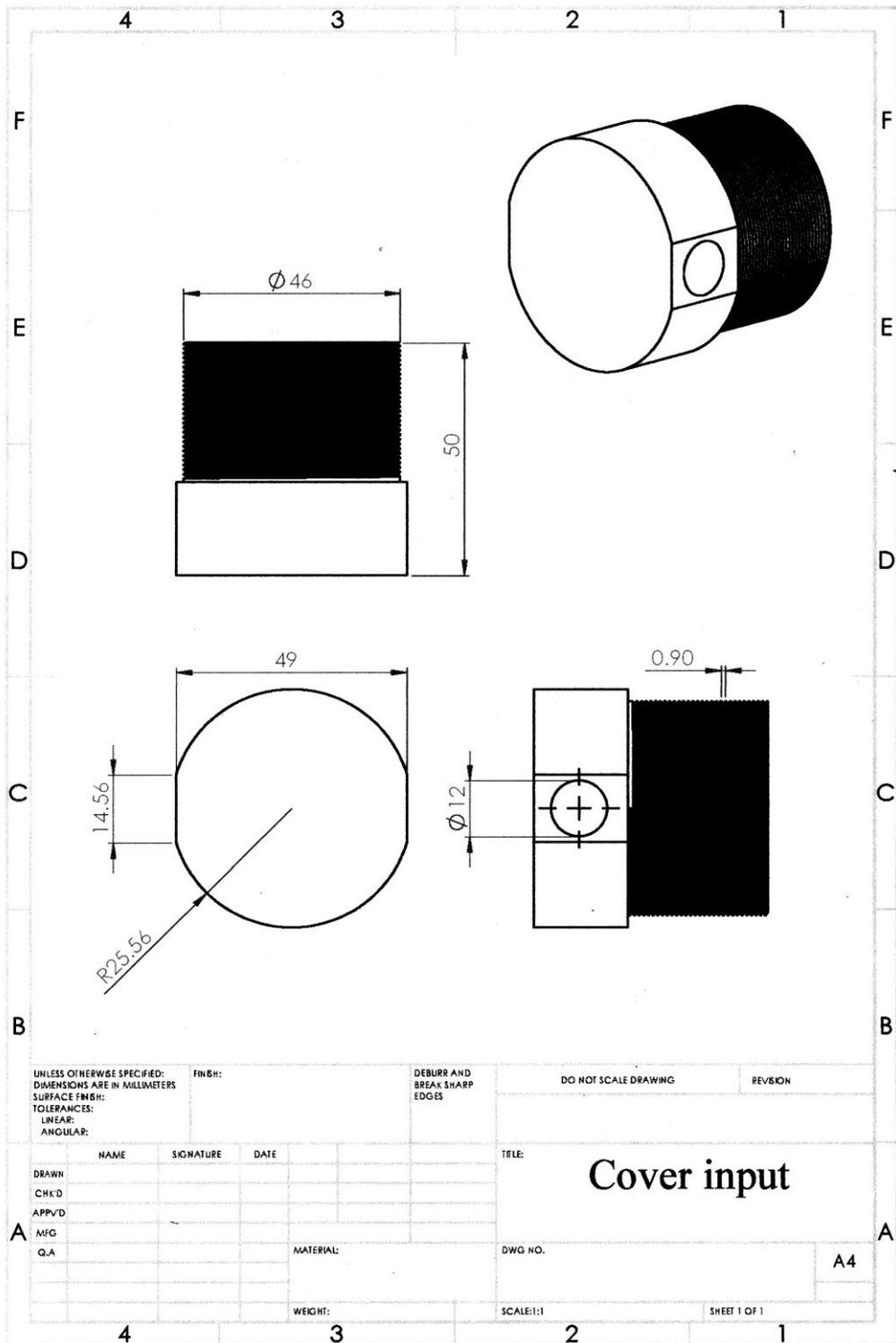




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN			SIGNATURE		DATE		TITLE: Filter Kondensator				
CHK'D											
APPV'D											
MFG							MATERIAL:				
Q.A							DWG NO.				
							SCALE:1:1				
							SHEET 1 OF 1				



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:	
CHK'D							
APP'VD							
MFG							
Q.A				MATERIAL:	DWG NO.	A4	
				WEIGHT:	SCALE:1:20	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

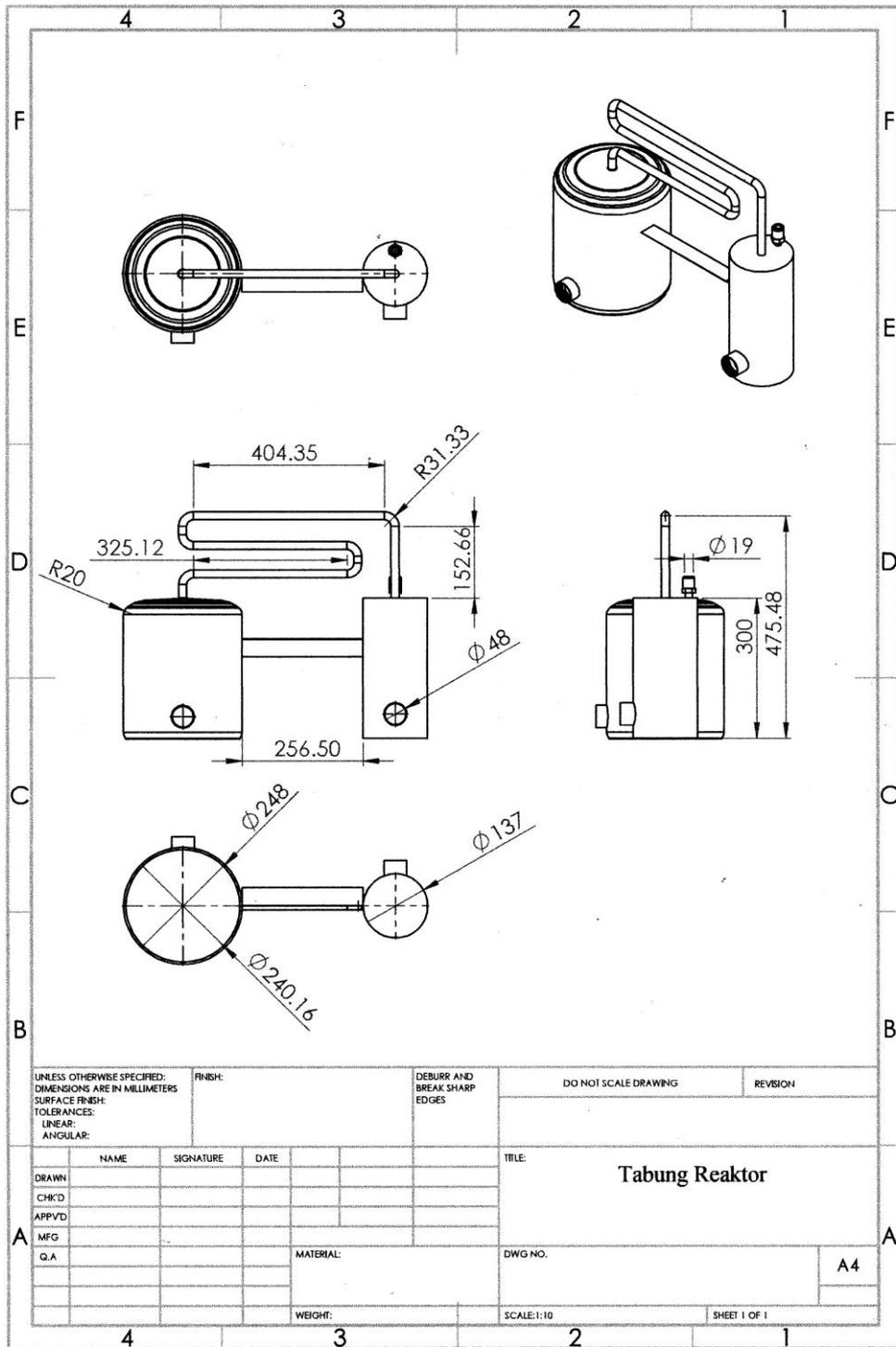
DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

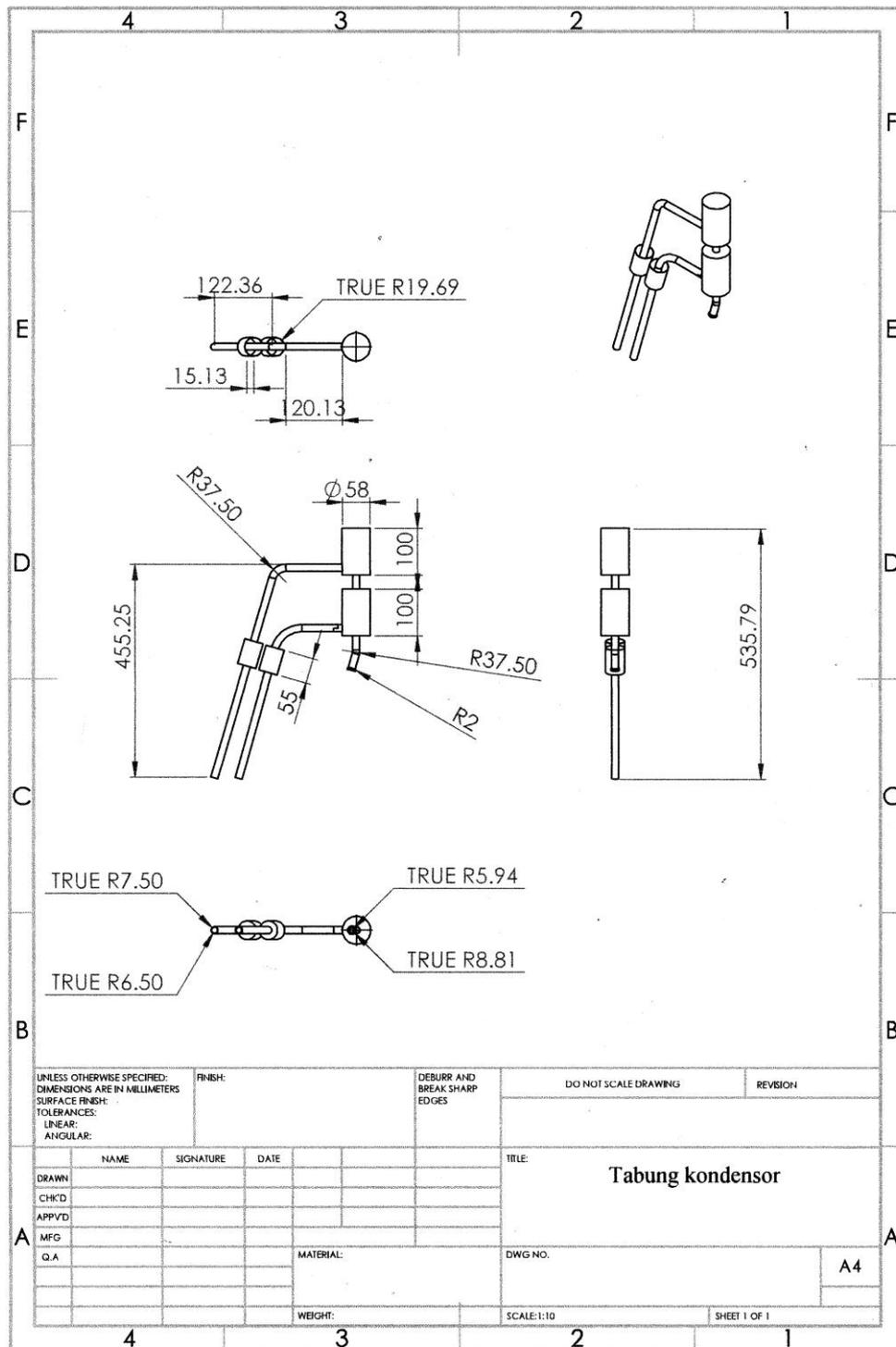
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

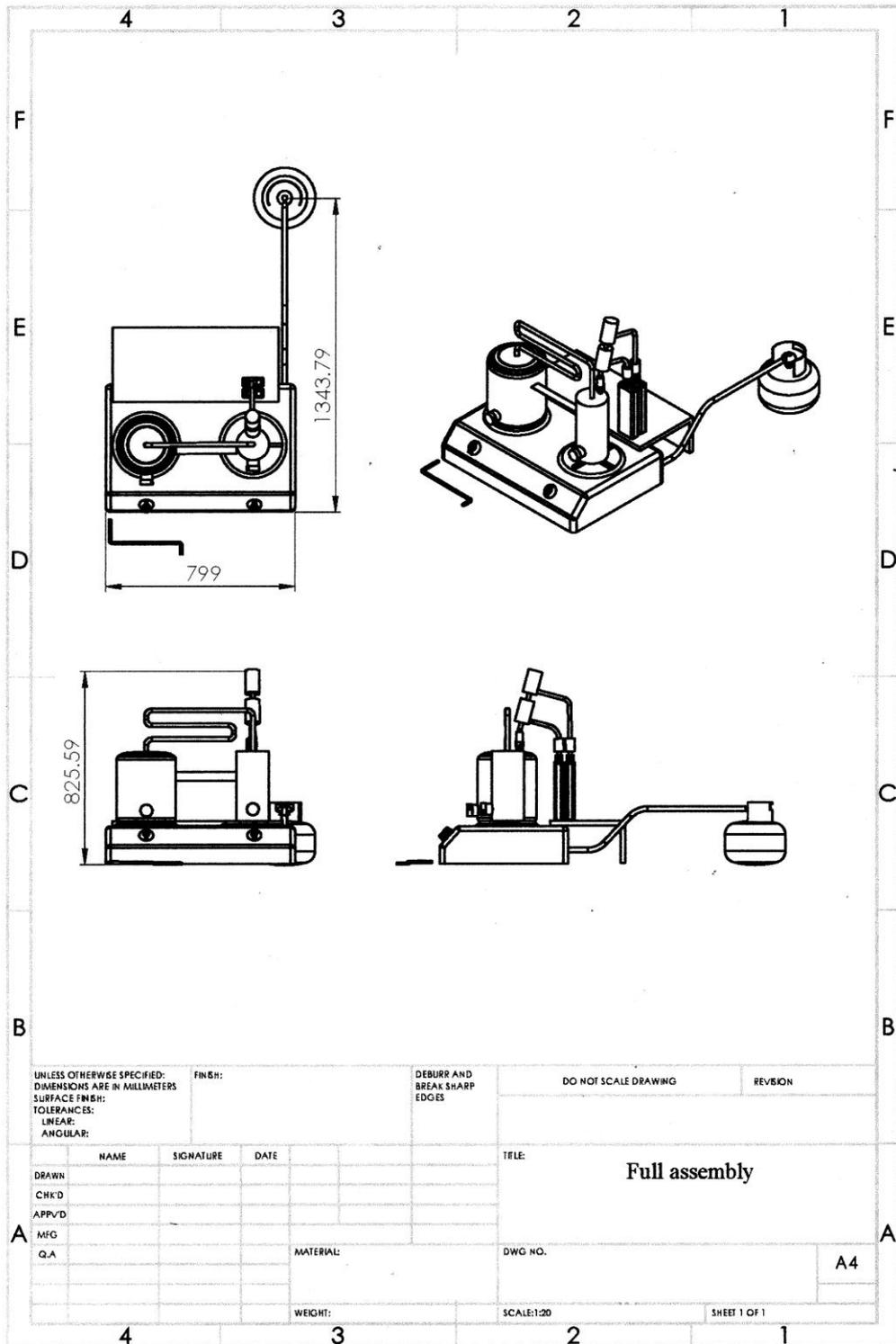
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APP'V'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: **Cover input**
 DWG NO.:
 SCALE: 1:1
 SHEET 1 OF 1
 A4





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:				TOLERANCES:		LINEAR:		ANGULAR:			
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE: Tabung kondensor			
CHK'D											
APP'VD											
MFG								MATERIAL:			
Q.A								DWG NO.			
								WEIGHT:			
								SCALE: 1:10			
								SHEET 1 OF 1			



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda

Nama : Riyanto Situmorang
NPM : 1407230077

Dosen Pembimbing I : Khairul Ummurani, S.T, M.T

No.	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Senin. 11 Januari 2021	- Pemberian exemplasi tugas	↳
2	Rabu. 27 Januari 2021	- Perbincangan pendahuluan	↳
3	Rabu. 17 Februari 2021	- Perbincangan tinjauan pustaka	↳
4	Rabu. 24 Februari 2021	- Perbincangan Metode	↳
5	Rabu 17 Maret 2021	- Perbincangan prosedur	↳
6	Rabu. 12 Mei 2021	- Perbincangan analisis data	↳
7	Rabu 26 Mei 2021	- Perbincangan ke pembimbing 2	↳
8	Rabu. 9 Juni 2021	- Ace, seminar	↳

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Proses Pembuatan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda

Nama : Riyanto Situmorang
NPM : 1407230077

Dosen Pembimbing II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T, M.T

No.	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		- perbaiki format - perbaiki figure - perbaiki hasil & kesimpulan	} Af.
	13/7 2021	: Hce Persiapan Seminar	Af.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 35/IL3AU/UMSU-07/F/2020

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 13 Januari 2020 dengan ini Menetapkan :

Nama : RIYANTO SITUMORANG
Npm : 1407230077
Program Studi : TEKNIK Mesin
Semester : XI (SEBELAS)
Judul Tugas Akhir : PROSES PEMBUATAN ALAT PIROLIS SAMPAH PLASTIK
DENGAN REAKTOR GANDA

Pembimbing 1 : KHAIRUL UMURANI ST.MT
Pembimbing II : AHMAD MARABDI SIREGAR ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 17 jumadil Awal 1441 H

13 Januari 2020 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST..MT

NIDN: 0101017202

Cc. File

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Riyanto Situmorang
NPM : 1407230077
Judul T.Akhir : Proses Pembuatan Alat Prplisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani..T.M.T
Dosen Pembimbing-II : Ahmad marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Riadini Wanty Lbs.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
..... Revisi dituntut
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 20 Shafar 1443H
30 September 2021 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I



Riadini Wanty Lubis.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Riyanto Situmorang
NPM : 1407230077
Judul T.Akhir : Proses Pembuatan Alat Prplisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani..T.M.T
Dosen Pembimbing-II : Ahmad marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pemanding - I : Riadini Wanty Lbs.M.T
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

lihat buku tugas akhir
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 20 Shafar 1443H
30 September 2021 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pemanding- II



Chandra A Siregar.S.T.M.T