

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS PERBANDINGAN KUALITAS BAHAN BAKAR ALTERNATIF MEMANFAATKAN LIMBAH PLASTIK PET DAN BAHAN BAKAR FOSIL**

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

**Disusun Oleh:**

**AHMAD HASBI NAWAWI**  
**1707230104**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Hasbi Nawawi

NPM : 1707230104

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif

Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil

Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, September 2023

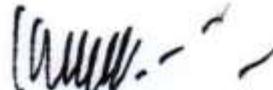
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Rahmatullah, S.T., M.Sc., IPM. ASEAN Eng

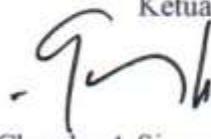
Dosen Penguji III



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

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



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

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ahmad Hasbi Nawawi  
Tempat / Tanggal Lahir : Desa Sukaraja / 04 April 1999  
NPM : 1707230104  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Proposal Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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

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

Medan, Agustus 2023

Saya yang menyatakan,



Ahmad Hasbi Nawawi

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan kualitas bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari limbah plastik PET dan bahan bakar fosil. Limbah plastik PET merupakan salah satu jenis sampah plastik yang sulit terurai di lingkungan dan menjadi masalah lingkungan yang serius. Penelitian ini mencoba mengatasi masalah tersebut dengan mengubah limbah plastik PET menjadi bahan bakar alternatif. Metode penelitian melibatkan proses pirolisis limbah plastik PET untuk menghasilkan bahan bakar cair. Hasil pirolisis dibandingkan dengan bahan bakar fosil dalam hal karakteristik fisik dan kimia, seperti viskositas, nilai kalor, emisi gas beracun, dan dampak lingkungan. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam upaya mengurangi limbah plastik dan diversifikasi sumber energi dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif. Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak lingkungan secara lebih mendalam dan pengembangan teknologi yang lebih efisien dalam mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan.

*Kata kunci: Plastik PET, bahan bakar, pirolisis*

## **ABSTRACT**

*This research aims to conduct a comparative analysis of the quality of alternative fuels produced from PET plastic waste and fossil fuels. PET plastic waste is a type of plastic waste that is difficult to decompose in the environment and is a serious environmental problem. This research tries to overcome this problem by converting PET plastic waste into alternative fuel. The research method involves the pyrolysis process of PET plastic waste to produce liquid fuel. The pyrolysis results are compared with fossil fuels in terms of physical and chemical characteristics, such as viscosity, heating value, toxic gas emissions, and environmental impact. This research can contribute to efforts to reduce plastic waste and diversify energy sources by utilizing plastic waste as alternative fuel. In addition, further research is needed to understand environmental impacts in more depth and develop more efficient technology in converting plastic waste into alternative fuels that are more environmentally friendly.*

*Keyword: PET plastic, fuel, pyrolysis*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil” 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 Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Suriadi dan Ernawati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis: Reonaldy Septa Yosa, Feby Danuarta Sirait, Arik Putra Perdana, Iqbal Rahmanda Manik yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, dan ucapan terima kasih terkhusus kepada istriku tersayang Pratiwi Idrus, yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan laporan proposal tugas akhir ini.

Laporan Proposal 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 Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Konversi Energi teknik mesin.

Medan, Agustus 2023

Ahmad Hasbi Nawawi

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>IV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>VI</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>VII</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 Sampah	5
2.1.1 Jenis Sampah	5
2.1.2 Karakteristik Sampah	5
2.1.3 Dampak Bagi Lingkungan	6
2.2 Plastik	8
2.2.1 Daur Ulang Sampah Plastik	9
2.3 Pirolisis	10
2.3.1 Proses Pirolisis	14
2.3.2 Jenis-Jenis Reaktor Pirolisis	15
2.4 Bahan Bakar	19
2.5 Karakteristik Bahan Bakar	20
2.5.1 Viskositas	20
2.5.2 Densitas	20
2.5.3 Flash Point	21
2.5.4 Nilai Kalor	22
2.6 Konversi Sampah Plastik Menjadi Minyak	24
2.7 Destilasi	25
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>29</b>
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	29
3.2 Bahan Dan Alat	30
3.2.1 Bahan	30
3.2.2 Alat	30
3.3 Bagan Aliran Penelitian	35
3.4 Prosedur Penelitian	36

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>37</b>
4.1 Data	37
4.1.1 Perhitungan Nilai Kalor, Flash Point Dan Viscosity Secara Teoritis	37
4.1.2 Nilai Kalor,Flash Point Dan Nilai Kekentalan Berdasarkan Pengujian	42
4.2 Bahan Bakar Dari Plastik Pet	42
4.3 Bahan Bakar Fosil	43
4.4 Analisis Data	44
4.4.1 Nilai Kalor	44
4.4.2 Flash Point	44
4.4.3 Viscosity(Nilai Kekentalan)	45
4.4.4 Nilai Kalor,Flash Point Dan Viscosity(Nilai Kekentalan)	45
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>VIII</b>
<b>LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR</b>	<b>XII</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>XII</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis plastik, kode dan penggunaanya (Putra, dkk, 2010)	8
Tabel 2. 2 Nilai kalor plastik dan bahan lainnya (Das & Pandey, 2007)	9
Tabel 2. 3 Standar Dan Mutu Bahan Bakar Minyak (Novandy, 2013)	24
Tabel 3. 1 Rencana Pelaksanaan Penelitian	29
Tabel 4. 1 Perbandingan Nilai Kalor Komponen sampah	38
Tabel 4. 2 Perbandingan Viskositas dan Densitas Jenis Plastik	41
Tabel 4. 3 Data Perhitungan Secara Teoritis	43
Tabel 4. 4 Data Pengujian Laboratorium Politeknik Medan	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaktor fixed moving bed (Sentilkumar, 2015)	15
Gambar 2. 2 Reaktor bubbling fluidized bed (Basu, 2010).	16
Gambar 2. 3 Reaktor circulating fluidized bed (Sentilkumar, 2015)	16
Gambar 2. 4 Reaktor ultra-rapid pyrolyzer (Basu, 2010)	17
Gambar 2. 5 Reaktor rotating cone (Basu, 2010)	17
Gambar 2. 6 Reaktor ablative pyrolyzer (Basu, 2010)	18
Gambar 2. 7 Reaktor vacuum pyrolyzer (Basu, 2010)	18
Gambar 2. 8 Rangkaian alat destilasi sederhana (Arwizet, 2017)	26
Gambar 2. 9 Rangkaian alat destilasi fraksionisasi (Arwizet, 2017)Destilasi Azeotrop	27
Gambar 2. 10 Rangkaian alat destilasi azeotrop (Arwizet, 2017)	27
Gambar 2. 11 Rangkaian alat destilasi uap (Arwizet, 2017)	28
Gambar 2. 12 Rangkaian alat destilasi vakum (Arwizet, 2017)	28
Gambar 3. 1 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate)	30
Gambar 3. 2 Bensin	30
Gambar 3. 3 Neraca Digital	31
Gambar 3. 4 Gelas Ukur	31
Gambar 3. 5 Botol Kaca	32
Gambar 3. 6 <i>Viscosity Tester</i>	32
Gambar 3. 7 <i>Density Meter</i>	33
Gambar 3. 8 <i>Flash point testter</i>	33
Gambar 3. 9 Bom <i>Kalorimeter</i>	34
Gambar 3. 10 Bagan Alir Penelitian	35

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
$q$	Jumlah kalor	$J$
$m$	Massa zat	$g$
$c$	Kalor jenis	$J / g \cdot ^\circ C$
$\Delta T$	Perubahan suhu	$^\circ C / K$
$C$	Kapasitas kalor	$J / ^\circ C$
$F$	Gaya zat cair	$N$
$\eta$	Koefisien viskositas fluida	$N \cdot s / m^2$
$A$	Luas cairan	$m^2$
$V$	Kecepatan dinding yang bergerak	$m / s$
$l$	Jarak kedua permukaan	$m$
LHV	<i>Low Heating Value</i>	$Mth / kg$
HHV	<i>High Heating Value</i>	$Mth / kg$
P	Persentase komponen sampah	%
$\rho$	Massa jenis zat cair (BBM)	$kg / m^3$
$m$	Massa zat cair	$kg$
$v$	Volume zat cair	$m^3$

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan bakar cair merupakan gabungan senyawa hidrokarbon yang diperoleh dari alam maupun secara buatan. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Dimasa yang akan datang, kemungkinan bahan bakar cair yang berasal dari oil shale, tar sands, batubara dan biomassa akan meningkat. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali metal, dan mineral (Wiratmaja, 2010).

Berdasarkan asalnya, sampah plastik dibedakan menjadi sampah plastik industri dan sampah plastik rumah tangga. Sampah plastik industri berasal dari industri pembuatan plastik maupun industri yang bergerak di bidang pemrosesan. Sampah plastik rumah tangga dihasilkan terkait dengan aktivitas manusia sehari-hari misalnya plastik kemasan, plastik tempat makanan atau minuman (Syamsiro dkk, 2013). Pemanfaatan sampah plastik dilakukan dengan merubah bentuknya yang padat menjadi cair dan gas dengan prinsip pemanasan. Sampah plastik tidak diolah dengan cara dibakar karena prosesnya yang tidak sempurna akan menghasilkan senyawa bersifat karsinogen seperti *polychloro dibenzodioxins* dan *polychloro dibenzo-furans*. Untuk menghilangkan sifat karsinogennya, maka sampah plastik harus dibakar dengan suhu yang tinggi hingga 1000°C sehingga dibutuhkan biaya yang besar (Ermawati, 2011).

Memanaskan plastik *polyethylene* menggunakan metode pirolisis. Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi (800°C - 1000°C) ini ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Selain gas, ketika dipanaskan *polyethylene* juga membentuk suatu senyawa hidrokarbon cair mulai dari C<sub>1</sub> hingga C<sub>4</sub> dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin yang memiliki bentuk seperti *wax* (lilin). Struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair tersebut memungkinkannya untuk diolah menjadi minyak pelumas berkualitas tinggi (Lee, et. al, 2004). Hal ini disebabkan karena sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastik mirip

dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas (Miller, et. al, 2005).

Studi-studi mengenai pembuatan bahan bakar dari sampah plastik telah dilakukan oleh (Pratama dan Saptoadi, 2014) serta (Kadir, 2012) melakukan studi pirolisis sampah plastik dengan memvariasikan komposisi dan jenis bahan baku plastik. Sementara studi yang dilakukan oleh (Osueke dan Ofondu, 2011) berfokus pada pirolisis yang berlangsung pada suhu tinggi dan pengaruh penggunaan katalis terhadap kualitas produk. Pengaruh jenis katalis lainnya terhadap degradasi polimer, seperti zeolit yang digunakan sebagai katalis pada proses degradasi PP dan PE yang ternyata menghasilkan produk cair lebih rendah dibandingkan dengan gas (Uddin, et. al., 1997).

Penelitian yang dilakukan oleh (Wicaksono & Arijanto, 2017), dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa premium memiliki bilangan oktan 88, dengan massa jenis 0,68 kg/L, nilai kalor sebesar 47,3 kJ/kg. Penelitian yang dilakukan oleh (Adityo & Budiprasojo, 2016) dimana setelah dilakukan pengujian nilai kalor dengan menggunakan *bomb calorimeter* untuk nilai kalor bahan bakar sampah plastik jenis PP (*Polypropylene*) murni 100% sebesar 11.111,264 kkal/gram. Pada campuran bensin premium 90% + 10% bahan bakar sampah plastik menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 11.405,911 kkal /gram. Sedangkan untuk nilai kalor bahan bakar bensin premium sebesar 11.414,453 kkal/gram.

Penelitian yang dilakukan oleh (Syafari, 2011) Berdasarkan dari hasil perhitungan komposisi kimia yang terkandung dalam bahan bakar minyak, maka nilai kalor yang diperoleh untuk plastik jenis HDPE yaitu sebesar 10.814,829 kkal/kg dan nilai kalor yang diperoleh dari bahan bakar minyak untuk plastik jenis LDPE yaitu sebesar 10.674,728 kkal/kg. Nilai kalor yang diperoleh pada plastik jenis HDPE dan LDPE tidak jauh berbeda dan sesuai dengan standar mutu nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya yaitu antara 18.300-19.800 BTU/lb atau 10.160-11.000 kkal/kg.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yang, et. al, 2001) menyimpulkan bahwa 95% selulosa terdekomposisi pada temperatur antara 500°C dan 750°C laju pemanasannya adalah 1000°C/s. Setelah 750°C, hasil dari char menurun. Juga diketahui bahwa hasil dari tar yang terjadi sebesar 83% pada suhu 400°C dan

menurun menjadi 49% pada suhu 1000°C. Ini dikarenakan adanya reaksi tar sekunder yang terjadi pada sampah plastik dan ban bekas masih jarang dilakukan sehingga ketersediaan literturnya masih sangat terbatas.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rafi, 2019) menyatakan bahwa Hasil pengujian pada suhu 600°C pada waktu 60 menit menghasilkan minyak sebanyak 200 ml sedangkan pada suhu 700°C menghasilkan minyak sebanyak 270 ml. Hasil pengujian densitas bahan PET dengan suhu 600°C adalah 0,6067 gram/ml dan pada suhu 700°C adalah 0,6059 gram/ml yang mempunyai massa jenis yang lebih kecil dibandingkan suhu 600°C dan masuk klasifikasi densitas mendekati bahan bakar jenis bensin yang ada pada nilai densitas 0,6gram/ml. Hasil pengujian pirolisis PET pada suhu 600°C menghasilkan nilai kalor sebesar 11.252 kal/gram atau 47 kjoule/gram sedangkan suhu 700°C sebesar 11.290 kal/gram atau 47.237 kjoule/gram.

Dengan latar belakang ini, maka penelitian yang dilakukan sebagai tugas sarjana dengan judul: “**Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan Bahan Bakar Fosil**”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang masalah, dapat di rumuskan masalahnya yaitu :

Bagaimana menganalisa perbandingan kualitas bahan bakar alternatif memanfaatkan limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan bahan bakar fosil.

## **1.3 Ruang Lingkup**

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

1. Pengujian kualitas bahan bakar meliputi nilai kalor, *Flash Point* dan kekentalan bahan bakar cair hasil pirolisis sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
2. Plastik yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bahan bakar cair pirolisis sampah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*).

3. Temperatur panas reaktor yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar cair sebesar 475°C.
4. Kapasitas pengolahan sampah plastik 3 Kg.

#### **1.4 Tujuan**

1. Untuk menerapkan limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan bakar alternatif.
2. Untuk mengukur kualitas bahan bakar alternatif menggunakan limbah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan bakar.

#### **1.5 Manfaat**

1. Membantu mencari sumber-sumber bahan bakar alternatif, mengoptimalkan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif dan ramah lingkungan.
2. Mendapatkan bahan bakar cair dari limbah sampah plastik dengan penggunaan metode pirolisis, serta menghasilkan kualitas yang optimum sebagai bahan bakar cair.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sampah**

Sampah adalah sebagian dari sesuatu yang tidak terpakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, umumnya berasal dari kegiatan manusia dan bersifat padat (Azwar, 1990). Sampah adalah sisa-sisa bahan yang telah mengalami perlakuan baik telah diambil bagian utamanya, telah mengalami pengolahan, dan sudah tidak bermanfaat, dari segi ekonomi sudah tidak ada harganya serta dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan kelestarian alam (Hadiwijoto, 1983).

##### **2.1.1 Jenis Sampah**

Jenis-jenis sampah pada umumnya dibagi menjadi 2 macam yaitu :

###### **1. Sampah Organik**

Sampah organik, yaitu sampah yang mudah membusuk seperti sisa makanan, sayuran, dan daun-daun kering. Sampah ini dapat diolah lebih lanjut menjadi kompos. Contohnya adalah daun, kayu, kulit telur, bangkai hewan, kotoran hewan dan manusia, dan sisa-sisa makanan.

###### **2. Sampah Anorganik**

Sampah anorganik, yaitu sampah yang tidak mudah membusuk seperti plastik wadah pembungkus makanan, kertas, mainan plastik, botol, gelas minuman, kaleng dan kayu. Sampah ini dapat dijadikan sampah komersial atau sampah yang laku dijual untuk dijadikan produk lainnya. Beberapa sampah anorganik yang dapat dijual adalah plastik wadah pembungkus makanan, botol, gelas bekas minuman, kaleng, kaca, dan kertas (Basriyanta, 2007).

##### **2.1.2 Karakteristik Sampah**

Berdasarkan karakteristik sampah yang ada maka dibagi menjadi beberapamacam yaitu:

###### **1. Sampah Basah**

Sampah basah ini mudah mengalami pembusukan yang disebabkan oleh aktivitas organisme yang dimana pada dasarnya merupakan sampah padat semi basah dan memiliki rantai kimia yang pendek dan biasanya berupa bahan

organik seperti kulit buah buahan, sayuran dan hasil sisa dapur (Soemirat.,2000). Sampah jenis ini terdiri dari hasil pengolahan, persiapan, pembuatan, dan penyediaan makanan yang tersusun dari zat zat yang mudah mengalami pembusukan dikarenakan kandungan air bebas seperti contohnya berasal dari bahan bahan hewani maupun pertanian (Sri Pangestu, 2000).

## 2. Sampah kering

Sampah Kering adalah sampah yang berasal dari sisa bahan/ material yang tidak bisa atau sulit dihancurkan secara alami oleh alam. Yang dimana jenis sampah ini dibagi lagi menjadi dua jenis berdasarkan kegiatan masyarakat yaitu yang mudah terbakar seperti kertas, dan kardus yang sulit untuk terbakar seperti kaca, besi, dan alumunium.

Sampah jenis plastik merupakan sampah yang paling berpotensi dalam merusak lingkungan karena sulit untuk diurai oleh alam, maka jika masyarakat terus menghasilkan sampah plastik secara terus menerus akan menimbulkan masalah baik untuk masyarakat maupun untuk alam. Apabila sampah plastik tidak didaur ulang sebagaimana mestinya, contohnya dibakar seperti yang masyarakat pada umumnya lakukan akan mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia yaitu zat karbon monoksida, dioksin, furan, volatil dan zat-zat berbahaya lainnya (Rajkumar, 2015).

### 2.1.3 Dampak Bagi Lingkungan

Penggunaan plastik yang berlebihan mengakibatkan jumlah timbunan sampah plastik yang sangat besar. Dalam kondisi seperti itulah dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan., engan sifat plastik yang sulit terurai tersebut dengan kandungan bahan didalamnya ternyata memberikan banyak dampak negatif. Adapun dampak negatif tersebut, antara lain; Adapun dampak lingkungan yang ditimbulkan banyaknya timbunan sampah plastik adalah sebagai berikut :

1. Tercemarnya tanah, air tanah dan makhluk bawah tanah. Racun-racun dari partikel plastik yang masuk ke dalam tanah akan membunuh hewan-hewan pengurai di dalam tanah seperti cacing. Kantong plastik akan mengganggu jalur air yang teresap ke dalam tanah. Menurunkan kesuburan tanah karena plastik juga menghalangi sirkulasi udara di dalam tanah dan ruang gerak makhluk

bawah tanah yang mampu meyuburkan tanah.

2. Pembuangan sampah plastik sembarangan di sungai-sungai akan mengakibatkan pendangkalan dan penyumbatan aliran air sungai.
3. Sampah jenis kantong plastik akan mengganggu jalur air yang meresap kedalam tanah.

Jika dibakar, sampah plastik akan menghasilkan asap beracun yang berbahaya bagi kesehatan yaitu jika proses pembakarannya tidak sempurna, plastik akan mengurai di udara sebagai dioksin. Senyawa ini sangat berbahaya bila terhirup manusia. Dampaknya antara lain memicu penyakit kanker, hepatitis, pembengkakan hati, gangguan sistem saraf dan memicu hal yang tidak diinginkan sehingga berpengaruh terhadap kesehatan, lingkungan dan lain sebagainya.

Dari ulasan diatas sangat jelas bahwa banyak sekali dampak negatif dari sampah plastik. Penggunaan sampah plastik yang terus menerus dan berlebihan bisa mengakibatkan pencemaran air dan tanah, polusi udara, bahaya banjir, mengacaukan proses rantai makanan dan pemanasan global atau perubahan iklim.

Untuk mengatasi masalah sampah plastik, baiknya kita segera menerapkan solusi pengelolaan prinsip 3R yakni memakai ulang (*reuse*), mengurangi pemakaian plastik (*reduce*), dan mendaur ulang (*recycle*).

Paparan zat beracun dari limbah plastik juga bisa berbahaya bagi ibu hamil, janin, dan anak-anak. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa paparan limbah dan zat beracun bisa meningkatkan risiko terjadinya gangguan tumbuh kembang pada janin dan anak-anak

Selain itu, ibu hamil yang terlalu sering terpapar senyawa kimia dari sampah plastik juga berisiko tinggi mengalami keguguran, bayi terlahir prematur, atau penyakit bawaan lahir pada janin.

Selain itu, kontaminasi bahan plastik, seperti phthalates dan bisphenol A, pada alat dan tempat makan serta mainan anak juga perlu diperhatikan, karena bisa beracun dan berisiko memengaruhi tumbuh kembang anak.

Selain itu, paru-paru yang sering terkena paparan dari senyawa dapat mengakibatkan kerusakan pada pernapasan, dan banyak hal lain yang dapat disebabkan oleh penggunaan plastik ini, maka dari itu kita diharapkan dapat menjaga jangkauan aktivitas kita dari penggunaan plastik sebagai bahan bakar.

## 2.2 Plastik

Plastik merupakan salah satu material yang tersusun dari rantai molekul yang panjang yang terbentuk dari proses polimerisasi dan memiliki berat molekul yang cukup besar, yang terdiri dari karbon, hidrogen dan molekul molekul atom lainnya yang dibentuk melalui proses manufaktur yang terdiri dari empat cara yaitu *injection molding*, ekstrusi, *thermoforming*, dan *blow molding* (Mujiarto, 2005). Plastik sendiri tidak dapat ditemukan di alam. Plastik dapat digunakan dalam berbagai macam bentuk dan kebutuhan seperti contohnya kantung plastik, prabot rumah, dan steroform. Karakteristik dari plastik adalah mudah dibentuk, kuat, ringan dan beberapa jenis plastik dapat menahan panas dan bahan kimia tertentu.

Plastik dibedakan menjadi dua menurut sifatnya yaitu *thermoplastic* yang merupakan jenis plastik yang dapat didaur ulang dengan proses pemanasan ulang dan *thermoset* yang merupakan plastik yang tidak dapat didaur ulang kembali karena apabila dilakukan pemanasan ulang maka akan merusak molekul pembentuk plastik jenis ini. Maka berdasarkan sifat sifatnya plastik yang sering dipakai yaitu jenis thermoplastik yang dapat dipakai atau didaur ulang kembali yang diberi kode agar mudah dalam mengidentifikasi dan membedakannya (Kurniawan dan Nasrun, 2015).

Plastik yang digunakan pada sebuah botol plastik tentu berbeda bahan dengan plastik untuk membuat mangkuk atau sebuah piring plastik, kursi, sedotan dan pipa paralon. Untuk mengetahui jenis plastik yang digunakan sebagai material dari produk dapat dilihat dengan kode-kode plastiknya. Kode-kode tersebut dibagi menjadi 7 jenis kode. Setiap kode tersebut memiliki fungsi dan kegunaan masing-masing seperti yang terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Jenis plastik, kode dan penggunaanya (Putra, dkk, 2010)

No	Jenis-Jenis Plastik	Karakteristik Dan Contoh
1	PET ( <i>Polyethylene Terephthalate</i> )	Botol minum ringan, botol air mineral, bahan pengisi kantong tidur/bantal, dan serat <i>textile</i>
2	HDPE ( <i>High Density Polyethylene</i> )	Kantong plastik, botol sampo, botol susu, dan kantong plastik
3	PVC ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )	botol jus, kotak pupuk, pipa saluran, selang taman, sol sepatu, kantong darah dan tabung

4	LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	wadah mi instan, cangkir minum panas, meja plastik, wadah makanan, dan pengepakan
5	PP ( <i>Polypropylene</i> )	kemasan berpendingin, bungkus makanan, kantong dan sedotan
6	PS ( <i>Polystyrene</i> )	kotak <i>ice cream</i> , kantong sampah dan kantong plastik
7	O ( <i>Other</i> )	jenis plastik yang termasuk pada plastik lainnya yaitu <i>acrylic</i> dan <i>nylon</i>

### 2.2.1 Daur Ulang Sampah Plastik

Berbagai upaya telah banyak dilakukan untuk menekan penggunaan produk plastik sebagai salah satu kampanye untuk memperlambat terjadinya pemanasan global. Sejauh ini keterlibatan masyarakat dalam mengurangi pemakaian produk plastik masih sangat minim. Biasanya plastik di musnahkan dengan cara pembakaran, padahal jika proses pembakaran plastik tidak sempurna (dibawah 800°C) dapat membentuk dioksin, yaitu senyawa yang dapat memicu kanker, hepatitis, pembengkakan hati dan gangguan sistem saraf (Ilhamdika, 2017).

Daur ulang merupakan salah satu strategi pengelolaan sampah padat yang terdiri atas kegiatan pemisahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian, dan pembuatan produk atau material bekas pakai dan komponen utama dalam manajemen sampah modern (Permadi, 2011). Proses daur ulang limbah plastik melibatkan proses pengumpulan, pemisahan dan pemrosesan yang bertujuan untuk mengembalikannya kembali ke masyarakat dalam bentuk produk yang sama ataupun produk yang baru, baik dari jenis atau fungsinya. (Lardinois dan Van de Klundert, 1994).

Perbandingan energi yang terkandung dalam plastik dengan sumber-sumber energi lainnya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Nilai kalor plastik dan bahan lainnya (Das & Pandey, 2007)

No.	Material	Nilai Kalor (MJ/Kg)
1	<i>Polyethylene</i>	46,3
2	<i>Polypropylene</i>	46,4
3	<i>Polyvinyl Chloride</i>	18,0

4	<i>Polystrene</i>	41,4
5	<i>Coal</i>	24,3
6	<i>Petrol</i>	44,0
7	<i>Diesel</i>	43,0
8	<i>Heavy Fuel Oil</i>	41,1
9	<i>Liquid Fuel Oil</i>	41,9
10	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>	46,1
11	<i>Kerosene</i>	43,4

---

Selain nilai kalornya yang tinggi, plastik *polypropilene* (PP) dan *poly ethylene therephtalate* (PET/HDPE) merupakan plastik yang sering diaplikasikan. Sifatnya yang tahan panas, keras, dan fleksibel membuat plastik PP sering digunakan untuk membuat kantung plastik, gelas plastik air mineral, pembungkus makanan instan, dan beberapa botol plastik. Sementara plastik PET lebih sering digunakan untuk botol minuman instan karena sifatnya yang tahan dengan larutan (Nugraha, 2013).

Pemanfaatan plastik daur ulang sebagai bahan konstruksi masih sangat jarang ditemui. Semakin berkembangnya teknologi, pengelolaan sampah plastik juga dapat dilakukan melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan teknik daur ulang limbah tersier atau teknik yang mampu mengkonversi limbah plastik menjadi bahan bakar, monomer, atau bahan berharga lainnya melalui proses degradasi termal dan katalitik (J. Scheirs & W. Kaminsky, 2006).

### 2.3 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 (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar (*pyrolitic 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, 2012).

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, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>), 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 plastik dengan bahan baku 40% PE, 35% PP, 18% PS, 4% PET dan 3% PVC yang menghasilkan produk minyak 78.1% C<sub>5</sub>-C<sub>9</sub>, 7.4% C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub>, 8.5% C<sub>13</sub>+ pada suhu 460°C . Dari hasil tersebut terlihat bahwa produk terbesar pirolisis plastik tersebut adalah C<sub>5</sub>-C<sub>9</sub> yang merupakan komponen dasar penyusun Gasoline/bensin. Namun minyak hasil pirolisis tersebut tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan baku kendaraan bermotor (López, 2011).

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi bahan pada suhu tinggi dengan ruangan vakum atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi dikenal jugadengan proses devolatisasi. Pirolisis merupakan suatu metode yang dapat dipertimbangkan dan layak untuk dilakukan dengan menggunakan degradasi material polimer dengan kondisi vakum atau sedikit menggunakan oksigen. Kondisi vakum ini dimaksudkan agar keamana, kualitas, dan *yield* yang terjaga (J. Scheirs & W. Kaminsky, 2006).

Pirolisis juga merupakan salah satu cara pengolahan sampah yang mengurangi berat massa dan volume sampah serta menghasilkan produk lain yang dapat digunakan kembali. Produk utama dari proses pirolisis ini adalah minyak, gas, dan arang. Arang yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat digunakan sebagai karbon aktif atau dapat digunakan sebagai bahan bakar. Sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau sebagai campuran bahan bakar dan gas yang dihasilkan dapat dibakar secara langsung.

Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C pada saat komponen bahan polimer tidak stabil secara termal dan mudah menguap pada sampah yang akan pecah (Aprian dan Munawar 2011). Proses pirolisis dibedakan menjadi tiga

macam berdasarkan 600°C (J. Scheirs & W. Kaminsky, 2006), proses pirolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor (Akhtar, 2012) antara lain :

#### 1. Temperatur

Komposisi yang dihasilkan dari pirolisis bergantung pada temperatur yang dapat mendekomposisi biomassa. Pada temperatur rendah <300°C dekomposisi terjadi pada heteroatom yang menyebabkan produksi char/residu tinggi. Pada temperatur tersebut efisiensi konversi biomassa 0-20% dari berat yang terdekomposisi sedangkan pada temperatur >600°C akan menghasilkan produksi gas tinggi dibandingkan dengan char/residu dan *wax*. Temperatur akhir pirolisis akan menghasilkan *wax* dengan karakteristik yang berbeda. Pada umumnya temperatur dengan rentang 400°C - 550°C akan menghasilkan produksi *wax* tinggi.

Pemanfaatan ban bekas pakai selama ini hanya sedikit, semisal pemanfaatan menjadi hasil karya seni (bandulan, kursi), untuk tali sebagai pengikat, dan bahan bakar industri. Salah satu cara untuk menangani limbah ban bekas yang memiliki nilai tambah adalah mendegradasi secara panas (thermal) melalui proses pirolisis.

Temperatur pirolisis berada pada kisaran 300 °C-650 °C. Kehadiran oksigen dalam proses pirolisis akan mempengaruhi proses dekomposisi termal pada material biomassa. Kehadiran oksigen akan memicu terjadinya proses pembakaran akibat reaksi oksidasi antara material organik dan oksigen .

Pirolisis yang dilakukan dengan berbagai temperatur berguna untuk mengetahui produk terbaik yang bisa dihasilkan dalam proses pirolisis. Produk yang dihasilkan di analisa distribusi produknya dan sifat-sifat fisik produk cairan yang meliputi berat jenis, viskositas, dan laju pemanasannya. Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian mengenai Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Proses Pirolisis Pada Ban Bekas Pakai.

Suhu (temperatur) dalam proses ini menentukan tingkat dekomposisi material sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan hasil pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis. 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*. Suhu dilakukannya proses pirolisis ini yaitu pada suhu rendah.

## 2. Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang dihasilkan, semakin lama waktu proses pirolisis maka produk yang dihasilkan akan menjadi seperti residu padat, tar, dan gas yang akan semakin naik.

Waktu mempengaruhi produk yang akan dihasilkan, semakin lama waktu yang digunakan saat proses pirolisis maka nilai dekomposisi termal akan semakin besar yang berakibat laju pirolisis akan bertambah dan konversi yang semakin tinggi.

## 3. Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh pada hasil, semakin besar ukuran partikel maka luas permukaan per satuan berat akan semakin kecil dan berakibat pada proses pirolisis yang semakin lambat. Beberapa spesifikasi ukuran partikel yang digunakan antara lain ukuran partikel  $< 200 \text{ mm}$  untuk *rotating cone pyrolysis*,  $< 2 \text{ mm}$  untuk *fluid bed system*,  $< 6 \text{ mm}$  untuk *circulating fluid bed*.

## 4. Berat Partikel

Berat partikel berpengaruh pada hasil, semakin banyak bahan yang dimasukkan pada proses pirolisis maka hasil bahan bakar cair dan arang akan semakin banyak. Berikut adalah beberapa pengaruh ukuran partikel terhadap proses pirolisis:

1. Partikel yang lebih kecil cenderung memiliki luas permukaan yang lebih besar per unit massa, sehingga reaksi pirolisis dapat terjadi lebih cepat pada partikel-partikel yang lebih kecil. Ini bisa menjadi keuntungan dalam aplikasi di mana waktu reaksi yang singkat diinginkan.
2. terhadap volume yang lebih besar, sehingga transfer panas dari luar ke dalam partikel bisa lebih efisien. Ini bisa berdampak pada suhu dalam partikel, yang penting dalam mengendalikan proses pirolisis.
3. Transfer panas Partikel yang lebih kecil memiliki rasio permukaan

## 5. Kelembaban

Kelembaban berpengaruh selama proses pirolisis dan kandungan kimia wax dari produk pirolisis. Adanya kelembaban yang tinggi menyebabkan adanya energi

tinggi untuk mengeringkan biomassa dan meningkatkan temperatur pirolisis. Kadar air yang tinggi pada biomassa menyebabkan meningkatnya kandungan air pada wax hasil pirolisis. Pada umumnya biomassa memiliki kelembaban 50 - 60%. Oleh sebab itu, pada proses pirolisis kelembaban pada biomassa harus < 30%. Pada pengeringan menggunakan matahari dan udara dapat mengurangi kelembaban 3 - 12%.

Kelembaban adalah faktor penting yang memengaruhi proses pirolisis, yang merupakan proses termal di mana material organik atau biomassa terurai menjadi gas, cairan, dan padatan karbon pada suhu tinggi dalam lingkungan dengan sangat sedikit atau tanpa oksigen. Kelembaban dapat memengaruhi hasil pirolisis, komposisi produk, dan efisiensi proses secara signifikan. Berikut adalah beberapa pengaruh kelembaban pada proses pirolisis:

1. **\*\*Penurunan Nilai Kalor Produk\*\***: Kelembaban dalam bahan baku (seperti biomassa) dapat mengurangi nilai kalor produk pirolisis. Ini karena sebagian energi digunakan untuk menguapkan air dalam bahan, dan energi yang terikat dalam air tidak akan tersedia dalam produk pirolisis. Oleh karena itu, bahan dengan kelembaban tinggi dapat menghasilkan produk pirolisis dengan nilai kalor yang lebih rendah.

2. **\*\*Penurunan Suhu Reaksi\*\***: Air memiliki kapasitas kalor yang tinggi, sehingga kelembaban dalam bahan dapat menyerap sejumlah besar energi panas selama proses pirolisis. Hal ini dapat menyebabkan penurunan suhu reaksi yang dapat memperlambat proses pirolisis dan mengurangi konversi bahan menjadi produk gas dan cairan yang diinginkan.

Oleh karena itu, dalam proses pirolisis, perlu diperhatikan kadar kelembaban bahan baku untuk mencapai kondisi optimal sesuai dengan tujuan produksi yang diinginkan. Seringkali, pengeringan bahan baku dilakukan sebelum proses pirolisis untuk mengurangi dampak negatif dari kelembaban.

### **2.3.1 Proses Pirolisis**

Proses pirolisis menggunakan sumber panas eksternal untuk mendorong terjadinya reaksi endotermal pada keadaan yang tidak ada oksigen. Tiga komponen utama yang dihasilkan pada pirolisis (Tchobanoglous, dkk, 1993)

antara lain :

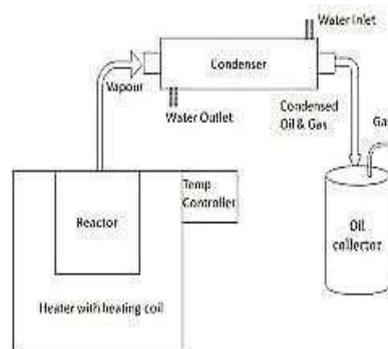
1. Gas yang mengandung hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, dan gas yang lain yang mengandung bahan-bahan organik.
2. Fraksi cair yang mengandung tar terdiri dari aseton, methanol, dan kompleks hidrokarbon.
3. Fraksi padatan yang terdiri dari karbon murni berasal dari bahan baku.

### 2.3.2 Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

Perubahan energi dalam suatu reaktor kimia bisa karena adanya suatu pemanasan atau pendinginan, penambahan atau pengurangan tekanan, gaya gesekan (pengaduk dan cairan). Adapun jenis-jenis reaktor pirolisis adalah sebagai berikut:

#### a. *Fixed or Moving bed*

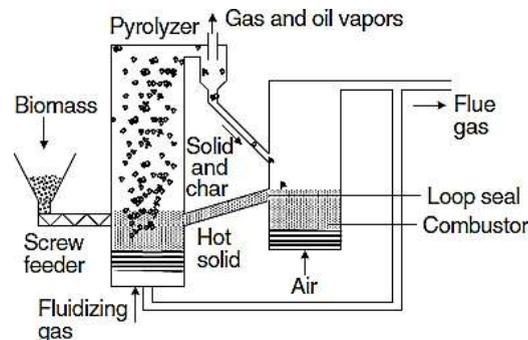
*Fixed or moving bed* yang beroperasi pada reaktor tetap, keuntungan menggunakan reaktor ini adalah sederhana, lebih murah, teknologi yang sudah terbukti (*proven*), dan dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat massa bahan uji, sehingga perlu dibersihkan sebelum menggunakan ke pengoperasian berikutnya seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Reaktor fixed moving bed (Sentilkumar, 2015)

*b. Bubbling Fluidized Bed*

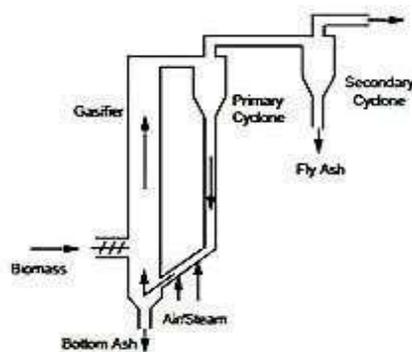
Reaktor yang bertipe *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor paling baik. Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara normal 1 (satu) atm dengan temperatur sedang  $450^{\circ}\text{C}$ , dan dapat menghasilkan *bio-oil* hingga 75% dari massa, tergantung dari biomassa yang digunakan sebagai sumber. Pada pirolisis ini menggunakan pasir silika sebagai fluidisasi karena pasir silika mempunyai titik lebur yang tinggi mencapai  $1800^{\circ}\text{C}$  maka sangat cocok untuk aplikasi gasifikasi *fluidized bed* seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Reaktor bubbling fluidized bed (Basu, 2010).

*c. Circulating Fluidized Bed*

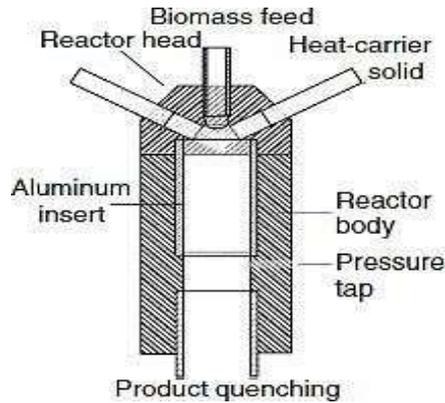
*Circulating fluidized bed* adalah reaktor dengan kerja seluruh padatan material terbawa aliran, selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah cocok untuk reaksi berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi, dan produksi tar yang rendah. Sedangkan kelemahan dari penggunaan reaktor jenis ini adalah terbentuknya *gradient* temperatur di arah aliran padatan, dan perpindahan panas tidak efisien seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Reaktor circulating fluidized bed (Sentilkumar, 2015)

d. *Ultra Rapid Pyrolyzer*

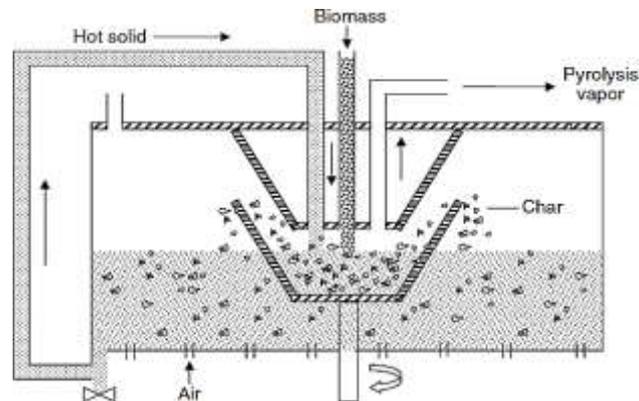
*Ultra rapid pyrolyzer* adalah reaktor dengan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C, maka akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan (Basu, 2010) seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



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 seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



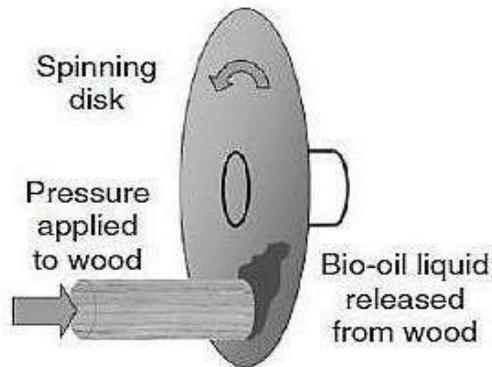
Gambar 2. 5 Reaktor rotating cone (Basu, 2010)

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.

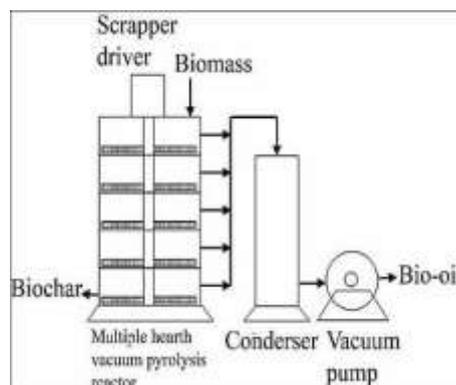
kibat dari transfer panas yang tinggi maka waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis akan lebih cepat dengan hasil produk gas yang sedikit dan hasil cairan sebanyak 80% seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



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, 2015) seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Reaktor vacuum pyrolyzer (Basu, 2010)

## 2.4 Bahan Bakar

Minyak bumi ialah salah satu energi tak terbarukan. Energi tak terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Menurut para ahli gas alam, minyak bumi, dan batu bara yang termasuk dalam kategori bahan bakar fosil yang diperkirakan akan habis 30 tahun lagi, bahan bakar gas habis dalam kurun waktu 70-80 tahun, dan bahan bakar padat 120 tahun lagi (Djoko Sungkono, 2011).

Kebutuhan energi bahan bakar terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan dan ekonomi masyarakat. Hingga saat ini, pemenuhan energi bahan bakar dunia, dan secara khusus di Indonesia masih bergantung sepenuhnya pada bahan bakar yang berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan (*petroleum-based oil*), yang mana di masa yang akan datang ketersediaannya semakin berkurang dan akhirnya akan habis. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi bahan bakar terbarukan sangat penting dilakukan guna mempertahankan ketersediaan bahan bakar secara kontinyu.

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral merupakan sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, petroleum, serta gas alam. Bahan bakar fosil dianggap sebagai sumber energi tak terbarukan, karena proses pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Selain itu pembakaran dari bahan bakar fosil ini menghasilkan karbondioksida yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang menjadi penyebab pemanasan global (Sari dan Pramono 2012). Oleh karena itu perlu adanya bahan bakar alternatif untuk mensubstitusi bahan bakar konvensional seperti premium, pertalite dan pertamax. Salah satu cara untuk mendapatkan bahan bakar alternatif tersebut adalah dengan cara melakukan pencampuran (*blending*) bahan bakar bensin dengan bahan bakar alternatif.

Bahan bakar adalah suatu bahan (Material) yang apabila dibakar akan menghasilkan energi panas. Setiap bahan bakar memiliki karakteristik dan nilai pembakaranyang berbeda-beda. Karakteristik inilah yang menentukan sifat-sifat dalam proses pembakaran (Culp, 1996). Sifat yang kurang menguntungkan dapat disempurnakan dengan jalan menambah bahan-bahan kimia kedalam bahan bakar tersebut. Sebagai contoh, batu bara nilai kalornya sangat bervariasi bergantung kandungan karbonnya. Dengan alasan tersebut, sekarang banyak metode yang

digunakan untuk menaikkan nilai kalor bahan bakar dengan proses penambahan kandungan karbon atau dengan cara pengurangan unsur-unsur pengotornya (Turns, 1996).

## **2.5 Karakteristik Bahan Bakar**

### **2.5.1 Viskositas**

Angka viskositas pada bahan bakar sangat penting ketika digunakan pada suatu mesin, karena nilai viskositas berkaitan dengan penyuplai konsumsi suatu bahan bakar melalui injektor yang akan berpengaruh pada kesempurnaan suatu proses pengkabutan (*atomizing*) pada ruang bakar. Apabila angka viskositas suatu bahan bakar terlalu tinggi maka akan mengganggu proses *atomizing* pada ruang bakar karena akan sulit dikabutkan, sedangkan angka viskositas terlalu rendah yang dimiliki suatu bahan bakar dapat menimbulkan abrasi atau gesekan pada ruang bakar, karena dalam proses gerakan piston membutuhkan pelumasan (Sinarep dan Mirmanto, 2011).

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan dalam fluida. Semakin besar viskositas fluida, maka semakin sulit fluida untuk mengalir dan juga menunjukkan semakin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair (Massey, B. S. 1983).

Viskositas suatu fluida (cairan) dapat diukur dengan Viskometer Ostwald dan pengukuran ini merupakan viskositas kinematik (Indantono, Y. S., 2006). Persamaan untuk menentukan viskositas kinematik dapat ditulis :

$$\mu = \rho \nu \quad (\text{Cst}) \quad (2.1)$$

### **2.5.2 Densitas**

Massa jenis suatu zat atau sering disebut densitas ini merupakan kuantitas konsentrasi dari suatu zat yang dinyatakan dalam massa persatuan volume. Temperatur dapat mempengaruhi nilai densitas dari suatu zat. Semakin tingginya temperatur suatu zat maka kerapatan zat tersebut akan semakin rendah, hal ini dikarenakan molekul – molekul yang saling mengikat

pada suatu zat akan terlepas. Kenaikan temperatur suatu zat akan menyebabkan volume zat tersebut meningkat, sehingga hubungan antara densitas dengan volume suatu zat berbanding terbalik (Sinarep dan Mirmanto,2011).

Rumusan perhitungan untuk mengukur densitas bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{kg/m}^3) \quad (2.2)$$

### 2.5.3 Flash Point

*Flash point* sebagai titik temperatur terendah dari suatu bahan bakar, dimana bahan bakar tersebut akan menguap dan mengeluarkan nyala sebentar apabila disinggung dengan percikan api, dan kemudian akan padam dengan sendirinya dalam tempo waktu yang singkat. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut belum mampu untuk membuat suatu bahan bakar bereaksi dan mengeluarkan nyala yang bersifat kontinyu. Proses pemanasan terhadap bahan bakar secara konstan dapat menentukan titik *flash point* dari suatu bahan bakar, setelah temperatur pada titik tertentu tercapai maka bahan bakar tersebut akan mengalami penguapan. Uap tersebut akan menyala jika sumber api diarahkan pada uap tersebut sehingga dapat menimbulkan percikan api (Sinarep dan Mirmanto, 2011).

*Flash point* yang tinggi akan memudahkan penanganan bahan bakar, karena bahan bakar tidak perlu disimpan pada suhu rendah. Sebaliknya, flashpoint bahan bakar yang terlalu rendah akan membahayakan karena tingginya resiko terjadi penyalaaan (Kurdi, 2006). *Flash point*, diuji dengan metode ASTM D-93. Amati dan catat tekanan udara ambient (penguujian) pada saat penguujian. Ketika tekanan berbeda dari 101,3 kPa (760 mm Hg), maka untuk koreksi dari flash point atau api titik, atau keduanya, sebagai berikut:

$$\text{flash point} = C + 0,25 (101.3 - P) \quad (2.3)$$

Dimana:

C=Flash Point diamati ( $^{\circ}\text{C}$ )

P=Tekanan pada *Flash Point* tertentu (kPa)

### 2.5.4 Nilai Kalor

Energi kalor yang terkandung dalam setiap satuan massa bahan bakar dapat ditunjukkan dengan nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka semakin besar energi yang terkandung dalam bahan bakar tersebut. Reaksi kimia yang terjadi antara suatu bahan bakar dengan oksigen dari udara akan menghasilkan panas. Nilai kalor bahan bakar (*calorific Value*) merupakan besarnya panas yang ditimbulkan pada satu satuan bahan bakar yang dibakar secara sempurna.

Jika benda menerima kalor, maka kalor itu diunakannya untuk menaikkan suhu benda atau, atau berubah wujud. Perubahan wujud benda berupa mencair, atau menguap. Perubahan kalor pada suatu reaksi dapat diukur melalui pengukuran perubahan suhu yang terjadi pada reaksi tersebut dengan persamaan (Brady, James E. 1999) sebagai berikut :

$$q = m \times c \times \Delta T$$

$$q_{\text{Kalorimeter}} = C \times \Delta T \tag{2.4}$$

Selain dengan percobaan di laboratorium, nilai kalor didapat dari perhitungan persamaan *proximate analysis* dan persamaan *ultimate analysis* menggunakan persamaan Dulong, dijabarkan di bawah ini :

- Persamaan *proximate analysis* (Vesilind, 2002) :

$$Btu / lb = 8000 A + 14500 B Btu / lb \tag{2.5}$$

$$= 2500D - 330W \tag{2.6}$$

- Persamaan *ultimate analysis* - Dulong (Tchobanoglous, 1993) :

$$Btu/lb = 145C + 610(H - 1/8 O) + 40S + 10N \tag{2.7}$$

#### 1. Pengaruh keberadaan air dan hidrogen pada sampah

Nilai kalor yang terukur pada percobaan bom kalorimeter dikenal dengan *high heating value* (HHV), dimana keberadaan air dan hidrogen setelah pembakaran terjadi adalah pada keadaan terkondensasi pada produk. Sementara *Low heating value* (LHV) adalah nilai kalor dimana diasumsikan air dan

hidrogen berada dalam fasa uap. Kalor yang dibutuhkan pada proses penguapan inilah yang akan menjadikan nilai kalor lebih rendah daripada LHV (Finet, 1985).

Perhitungan LHV sampah dengan menggunakan persamaan (Dorfmann, 1985) :

$$LHV = HHV \left(1 - \frac{Hu}{100}\right) - 5,83(Hu + 9H) \quad \left(\frac{Mth}{kg}\right)$$

(2.8)

Data H (persentase hidrogen) untuk tiap komponen sampah bisa didapatkan dari data literatur (Tchobanoglous, 1993). Untuk selanjutnya dalam pembahasan, digunakan istilah HHV dan LHV untuk menyatakan PCS dan PCI.

## 2. Perhitungan nilai kalor sampah

Perhitungan nilai kalor sampah secara keseluruhan dilakukan dengan perhitungan komposisi fisik sampah, dikalikan dengan data nilai kalor yang tersedia dari percobaan, seperti dijabarkan pada persamaan (2.6). Metoda ini lebih sederhana tanpa menggunakan teknik perhitungan laboratorium yang rumit dan menyita waktu dan biaya:

$$HHV = P \times HHV^* \quad (2.9)$$

Berikut adalah contoh nilai kalor beberapa jenis sampah umum:

### 1. Sampah Organik:

- Nilai kalor sampah organik seperti sisa makanan umumnya rendah, sekitar 5.000 hingga 12.000 J/kg atau sekitar 1 hingga 3 cal/g.

### 2. Sampah Plastik:

- Nilai kalor plastik bervariasi tergantung pada jenisnya. Plastik polietilena, seperti tas plastik, memiliki nilai kalor yang rendah, sekitar 35.000 J/kg atau sekitar 8 cal/g. Plastik lain seperti polipropilena atau polistirena memiliki nilai kalor yang lebih tinggi.

### 3. Sampah Kayu:

- Kayu adalah bahan biomassa dan memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan banyak jenis sampah. Nilai kalor kayu berkisar antara 15.000 hingga 18.000 J/kg atau sekitar 3,5 hingga 4,5 cal/g.

Adapun spesifikasi bahan bakar minyak dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 3 Standar Dan Mutu Bahan Bakar Minyak (Novandy, 2013)

<b>Kandungan</b>	<b>Premium</b>	<b>Pertalite</b>	<b>Pertamax</b>
Kalor (kJ/Kg)	43,087	43,831	43,35
Oktan (RON)	88,0	90,0	92,0
Kekentalan (dPa.S)	0,065 – 0,20	0,065 – 0,20	0,070 – 0,020

## 2.6 Konversi Sampah Plastik Menjadi Minyak

Minyak yang telah dihasilkan pada proses pirolisis selanjutnya akan dilakukan *reforming* yang merupakan serangkaian proses reaksi kimia. Proses reaksi tersebut berfungsi untuk memperbaiki struktur dan susunan rantai produk hasil pirolisis sehingga dapat memiliki spesifikasi komponen bahan bakar minyak dengan angka oktan yang tinggi. Untuk peningkatan angka oktan tersebut dilakukan konversi senyawa yang memiliki angka oktan rendah menjadi senyawa yang memiliki angka oktan tinggi. Dimana senyawa-senyawa naftanic dan paraffinic yang memiliki angka oktan rendah akan diubah menjadi senyawa-senyawa aromatik yang memiliki angka oktan tinggi (Joners, 1995). Pada proses *reforming* dibutuhkan katalis untuk proses terjadinya reaksi konversi senyawa-senyawa hidrokarbon. Selama ini katalis yang umum digunakan dalam proses *reforming* adalah Pt/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Pd/  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimana logam Pt dan Pd merupakan logam yang berharga mahal (Meyers, 1990).

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.

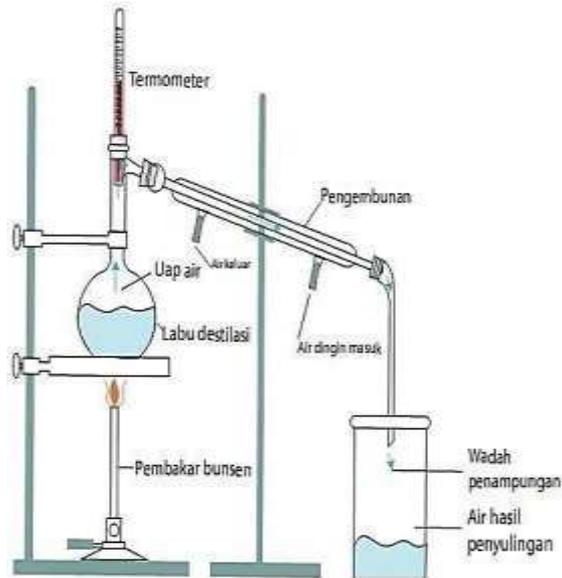
## 2.7 Destilasi

Destilasi pada dasarnya adalah proses pemisahan suatu campuran menjadi dua atau lebih produk, lewat eksploitasi perbedaan kemampuan menguap komponen-komponen dalam campuran. Dalam kata lain destilasi adalah suatu cara pemisahan larutan dengan menggunakan panas sebagai pemisah (*separating agent*). Proses ini dilakukan di dalam suatu kolom baki (*tray column*) atau kolom dengan isian (*packing column*), sehingga dapat terjadi kerja pemisahan yang lebih baik. Umumnya metode destilasi digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari suatu larutan. Ada beberapa metode destilasi yang sering digunakan dalam industri yakni (Arwizet, 2017) :

1. Destilasi Sederhana

Pada distilasi sederhana, dasar pemisahannya adalah perbedaan titik didih yang jauh atau dengan salah satu komponen bersifat volatil. Jika campuran dipanaskan maka komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih

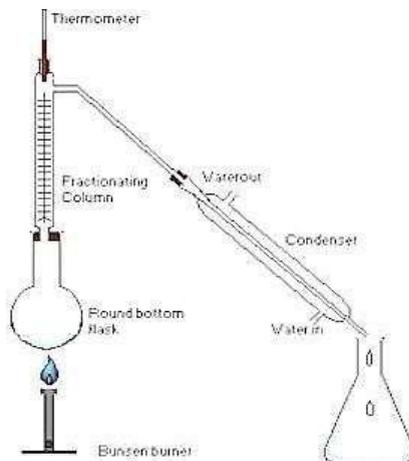
dulu. Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolatilan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas. Distilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Aplikasi distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan campuran air dan alkohol. Skema alat distilasi sederhana seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Rangkaian alat distilasi sederhana (Arwizet, 2017)

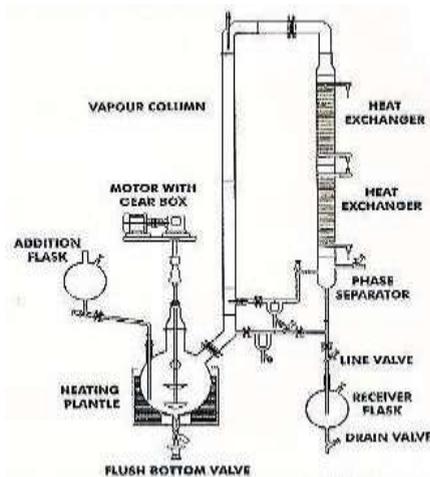
## 2. Destilasi Fraksionasi (bertingkat)

Fungsi distilasi fraksionasi adalah memisahkan komponen-komponen cair, dua atau lebih, dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Distilasi ini juga dapat digunakan untuk campuran dengan perbedaan titik didih kurang dari  $20^{\circ}\text{C}$  dan bekerja pada tekanan atmosfer atau dengan tekanan rendah. Aplikasi dari distilasi jenis ini digunakan pada industri minyak mentah, untuk memisahkan komponen-komponen dalam minyak mentah. Perbedaan distilasi fraksionasi dan distilasi sederhana adalah adanya kolom fraksionasi. Di kolom ini terjadi pemanasan secara bertahap dengan suhu yang berbeda-beda pada setiap platnya. Pemanasan yang berbeda-beda ini bertujuan untuk pemurnian distilat yang lebih dari plat-plat di bawahnya. Semakin ke atas, semakin tidak volatil cairannya. Skema alat distilasi fraksionasi seperti yang terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Rangkaian alat destilasi fraksionisasi (Arwizet, 2017)Destilasi Azeotrop

Destilasi Azeotrop merupakan metode destilasi yang digunakan untuk memisahkan kandungan zat pada campuran yang sulit di pisahkan, biasanya dalam proses destilasi azeotrop digunakan senyawa lain yang dapat memecah ikatan azeotrop tersebut atau dengan menggunakan tekanan tinggi. Skema alat destilasi azeotrop seperti yang terlihat pada gambar 2.10.

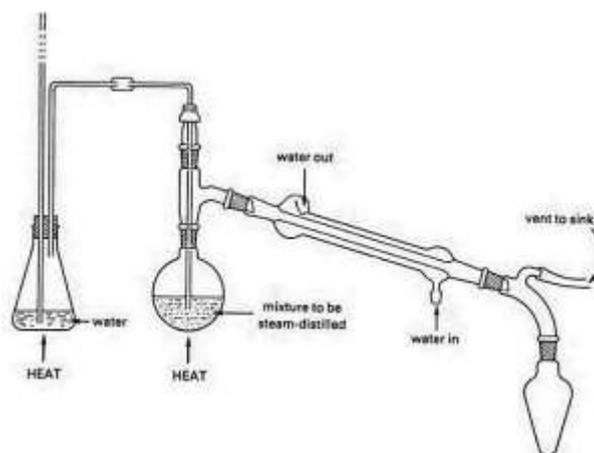


Gambar 2. 10 Rangkaian alat destilasi azeotrop (Arwizet, 2017)

### 3. Destilasi Uap

Untuk melakukan pemisahan komponen yang tidak dapat terlarut di dalam air dengan titik didih yang cukup tinggi, sedangkan sebelum zat tersebut mencapai titik didihnya sudah terurai, mengalami reaksi perubahan (rearrangement) atau teroksidasi, sehingga zat cair tersebut tidak dapat dimurnikan dengan cara destilasi sederhana atau destilasi bertingkat, melainkan harus dilakukan dengan

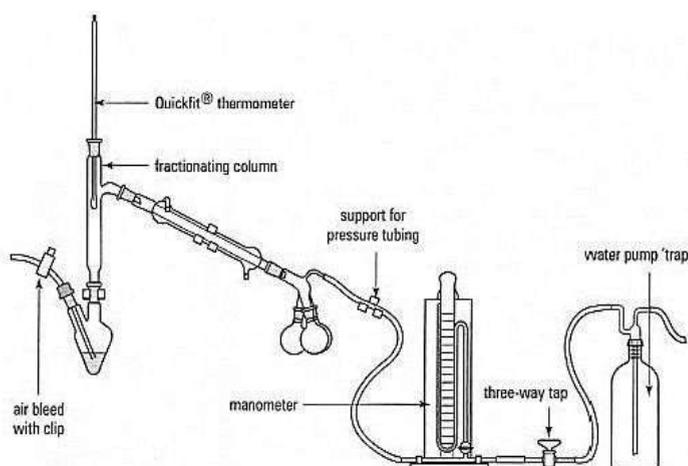
metode destilasi uap. Destilasi uap merupakan metode atau proses untuk memisahkan campuran antara air dengan senyawa atau zat yang tidak larut dalam air, dengan cara mengalirkan uap air ke dalam campuran sehingga bagian yang dapat berubah menjadi uap pada temperatur yang lebih rendah dari pada dengan menggunakan proses pemanasan langsung. Skema alat destilasi uap seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Rangkaian alat destilasi uap (Arwizet, 2017)

#### 4. Destilasi Vakum

Destilasi vakum adalah metode destilasi yang digunakan memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi. Dalam proses destilasi vakum ini dilakukan penurunan tekanan permukaan yang lebih rendah dari 1 atm, sehingga titik didihnya juga menjadi rendah. Dalam prosesnya suhu yang digunakan untuk proses destilasi tidak perlu terlalu tinggi. Skema alat destilasi vakum seperti yang terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Rangkaian alat destilasi vakum (Arwizet, 2017)

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

#### a. Tempat

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

#### b. Waktu

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

Tabel 3. 1 Rencana Pelaksanaan Penelitian

No. Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
1 Pengajuan Judul						
2 Studi Literatur						
3 Pengujian Minyak						
4 Penyelesaian Tulisan						
5 Seminar Hasil						

## 3.2 Bahan dan Alat

### 3.2.1 Bahan

#### 1. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik jenis ini didapat dari limbah botol plastik yang di cacah dengan ukuran < 2cm dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Plastik PET (Polyethylene Terephthalate)

#### 2. Bensin

Bensin digunakan pada penelitian ini sebagai bahan perbandingan kualitas minyak yang dihasilkan dari pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar minyak menggunakan metode pirolisis, dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Bensin

### 3.2.2 Alat

#### 1. Neraca Digital

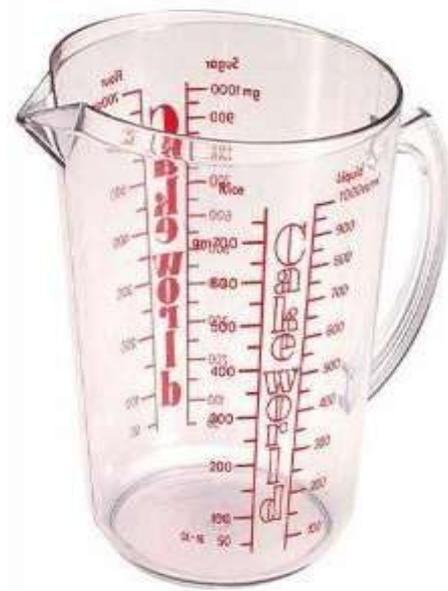
Alat ukur ini digunakan untuk mengukur berat minyak yang dihasilkan oleh plastik PET pada metode pirolisis seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Neraca Digital

## 2. Gelas Ukur

Gelas ukur ini digunakan untuk mengukur volume minyak plastik hasil pirolisis sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Gelas Ukur

## 3. Botol Kaca

Botol kaca pada penelitian ini digunakan sebagai wadah penampung minyak hasil pirolisis plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), selain itu botol kaca juga akan membuat kandungan di dalam minyak hasil pirolisis tersebut lebih tahan lama dan tidak berubah seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Botol Kaca

#### 4. *Viscosity Tester*

*Viscosity tester* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekentalan kinetis dari bahan bakar plastik PET, ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah.



Gambar 3. 6 *Viscosity Tester*

#### 5. *Density Meter*

Alat ini digunakan untuk mengukur densiti (kerapatan) zat cair secara langsung. Angka-angka yang tertera pada tangkai berskala secara langsung

menyatakan massa jenis zat cair yang permukaannya tepat pada angka yang tertera seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 *Density Meter*

#### 6. *Flashpoint Tester*

*Flashpoint Tester* digunakan sebagai instrumen yang menentukan titik nyala sampel minyak hasil pirolisis sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan cara memanaskan minyak didalam wadah dengan menyalakan api kecil tepat diatas permukaan minyak hasil pirolisis, dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 *Flashpoint Tester*

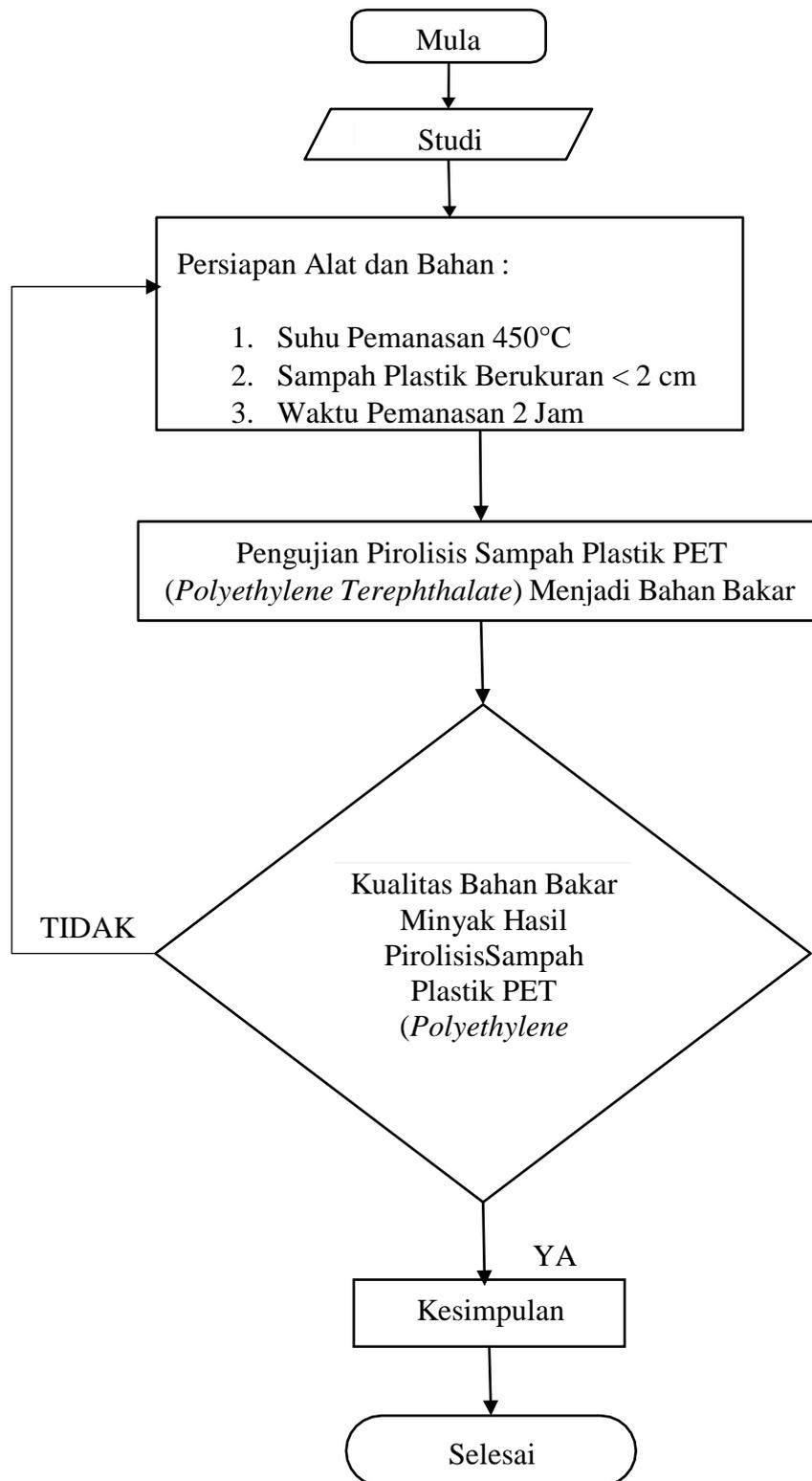
## 7. *Bomb* Kalorimeter

*Bomb* Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam  $O_2$  berlebih) suatu senyawa bahan bakar seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 9 *Bomb* Kalorimeter

### 3.3 Bagan Aliran Penelitian



Gambar 3. 6 Bagan Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan plastik PET yang akan digunakan sebagai bahan bakar minyak. Pastikan plastik tersebut bersih dan bebas kontaminasi
2. Pisahkan plastik PET dari jenis plastik lainnya, seperti PE atau PP. Kemudian, hancurkan atau potong plastik menjadi ukuran kecil untuk mempermudah proses selanjutnya.
3. Proses utama dalam mengubah plastik PET menjadi bahan bakar minyak adalah pengolahan termal. Plastik PET dipanaskan pada suhu tinggi dalam kondisi oks tanpa oksigen (pirolisis) untuk mengubah menjadi gas, cairan, dan residu padat.
4. Menguji kualitas karakteristik, *flash point* dan nilai kalor yang terdapat dalam minyak hasil pirolisis sampah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
5. Pengujian viskositas bahan bakar minyak menggunakan viskometer dengan metode pengujian ASTM D-44. Viskositas ditentukan dengan cara mengukur waktu aliran.
6. Pengujian nilai *flash point* bahan bakar minyak hasil pirolisis sampah plastik menggunakan metode pengujian sebagai dasar pengujian titik nyala ASTM D-93 PMCC. Metode pengujian ini mencakup titik penentuan titik nyala dari produk minyak bumi dalam kisaran suhu dari 40°C hingga 360°C dengan alat manual cangkir tertutup Pensky-Martens.
7. Pengujian nilai kalor bahan bakar minyak hasil pirolisis sampah plastik menggunakan metode ASTM D-250 adalah suatu prosedur standar yang digunakan untuk menentukan nilai kalor bahan bakar cair seperti minyak hasil pirolisis. Ini adalah salah satu parameter penting dalam mengevaluasi potensi bahan bakar tersebut untuk digunakan sebagai sumber energi..
8. Selesai.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Data**

Data hasil pengujian bahan bakar dengan waktu 2 jam dengan suhu 450 ° C pirolisis jenis plastik PET dan juga Premium.

Perhitungan yang akan dicari pada bab ini adalah mencari nilai kalor, *flash point* dan *viscosity* plastik PET dan bahan bakar fosil dengan menggunakan perhitungan secara teoritis dan juga berdasarkan hasil pengujian pada laboratorium, berikut untuk hasil perhitungan nilai kalor, *flash point* dan *viscosity* pada bahan plastik PET dan bahan bakar fosil:

#### **4.1.1 Perhitungan Nilai Kalor, *Flash Point* dan *Viscosity* Secara Teoritis**

Perhitungan nilai kalor, *Flash Point* dan *viscosity* bahan bakar plastik PET dan bahan bakar fosil secara teoritis akan didapat dengan menggunakan landasar teoritis yang sudah ada pada BAB II, yang akan ditampilkan pada pembahasan sebagai berikut:

##### **A. Perhitungan Nilai Kalor Plastik PET**

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas/kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/oksigen. Perhitungan nilai kalor sampah secara keseluruhan dilakukan dengan perhitungan komposisi fisik plastik PET, dikalikan dengan data nilai kalor yang tersedia dari percobaan, seperti dijabarkan pada pers.(4.1). Metode ini lebih sederhana tanpa menggunakan teknik perhitungan laboratorium yang rumit dan menyita waktu dan biaya:

$$HHV = P \times HHV^* \quad (4.1)$$

Dimana:

HHV = nilai kalor komponen sampah

P = persentase komponen sampah (% berat)

HHV\* = data nilai kalor tiap komponen sampah dari percobaan bom kalorimeter

Nilai HHV\* plastik PET dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Perbandingan Nilai Kalor Komponen sampah

No	ampel	Nilai Kalor (kcal/kg)					
		Bom Kalorimeter	LHV	Proximate Analysis		Dulong	
				1	2	3*	3* *
	Kertas						
1	HVS	3024,24	2884,84	4234,29	1143,01		3591,18
2	Karton	3602,18	3359,17	4118,58	1154,28	6648,26	
3	Koran	3845,53	3618,95	4238,47	1306,64	4205,97	
4	Majalah	2598,95	2476,51	3646,23	992,02	2712,36	
5	Kertas Nasi	4246,92	3920,67	4167,29	1288,89		3591,18
6	Kardus	4487,07	4093,09	4257,12	1284,39	3571,67	
	Plastik						
7	PET Bottle (no.1)	5450,85	5252,42	4445,83	1382,24	11680,56	
8	HDPE Lembaran (no.2)	11207,00	11169,58	4444,73	1386,33		6307,50
9	PVC lembaran (no.3)	5187,91	5138,23	4332,82	1360,11	5448,78	
10	LDPE (no.4)	12318,40	12195,08	4505,66	1356,34		6307,50
11	PP Cup (no.5)	11912,80	11903,06	4426,95	1380,54		6307,50
12	PS (no.6)	11285,50	11269,80	4273,86	1379,38	9645,22	
	Sampah Makanan & Pasar						
13	Makanan tercampur	5162,21	1437,86	3727,54	737,10	4466,11	
14	Daun Pembungkus	4638,37	975,59	4069,59	573,85		4154,72
15	Batok & gambut kelapa	4684,11	3407,90	4446,86	1291,42		3915,63
16	Sayur	4568,29	689,85	4205,94	248,60		4466,11
17	Ikan	5837,12	1567,48	3497,23	581,39		4466,11

18	Lemak	9891,62	5065,61	4442,10	1213,95	9155,28	
19	Daging	7154,78	2597,33	4359,15	1034,45		
20	Tulang	4464,42	1570,90	3169,97	638,29		6951,46
21	Buah	5064,86	392,54	4337,90	-828,00	4347,01	
	Sampah Kebun						
22	Daun	3998,02	1632,60	3644,07	958,76		4154,72
23	Rumput	4153,51	906,08	7365,52	567,68		4154,72
24	Cabang pohon/ranting	4715,66	1997,45	4211,09	1096,14		3915,63
	Tekstil & Karet						
25	Handuk	4435,10	4239,45	4301,44	1348,27		4357,78
26	Jeans	4271,05	4010,65	4393,74	1372,21		4357,78
27	Kaos	4836,68	4664,32	4413,66	1365,93		4357,78
28	Karet	5202,15	5106,45	4218,60	939,96	8598,61	
	Kompos						
29	Mentah	2125,75	675,26	2402,29	420,93		4137,50
30	1/2 Matang	2091,90	979,05	2291,37	484,83		4137,50
31	Matang	1669,73	936,04	1854,94	415,31		4137,50
32	Residu	2211,65	980,02	3007,37	680,21		4137,50

\*data Tchobanoglous

\*\* asumsi dari data Tchobanoglous

Maka kita peroleh HHV\* sebesar 11680,56 kkal/kg, dimana untuk komposisi plastik(P) yang digunakan sebagai bahan bakar cair setelah penguraian sebesar 92%, maka akan didapatkan HHV(nilai kalor) untuk plastik sebesar:

$$HHV = HHV^* \times P$$

$$HHV = 11680,56 \text{ kkal/kg} \times 92/100$$

$$HHV = 10746,1152 \text{ kkal/kg}$$

Kalau di konversikan ke Mj/kg maka didapat:

$$HHV = 10746,1152 \times 0,0042 \text{ Mj/kg}$$

$$HHV = 45,134 \text{ Mj/kg}$$

## B. Perhitungan *Flash Point*

*Flash Point* adalah Suhu terendah suatu bahan yang mengeluarkan uap/gas, akan menyala dan terbakar sekejap bila dikenai sumber panas atau pilot flame. Pada titik flash, uap dapat berhenti untuk membakar ketika sumber pengapian akan dihapus. Titik nyala dengan suhu autosulutasi, yang tidak memerlukan sumber pengapian, atau titik api, suhu di mana uap terus membakar setelah dinyalakan. Baik titik nyala maupun titik api tergantung pada suhu sumber pengapian, yang jauh lebih tinggi. Titik nyala sering digunakan sebagai karakteristik deskriptif dari cairan bahan bakar, dan juga digunakan untuk membantu mencirikan bahaya kebakaran cairan. "Titik nyala" mengacu pada baik mudah terbakar cairan dan mudah terbakar cairan. Ada berbagai standar untuk mendefinisikan setiap istilah. Semakin rendah titik nyala maka bahan tersebut semakin mudah terbakar atau nyala. Menentukan besar *Flash Point* untuk plastik yang diolah adalah sebagai berikut:

Amati dan catat tekanan udara ambient pada saat pengujian. Ketika tekanan berbeda dari 101,3 kPa (760 mm Hg), maka untuk koreksi dari *flash point* atau titik, atau keduanya, sebagai berikut:

$$\text{flash point} = C + 0,25 (101,3 - P)$$

Dimana:

C = *Flash Point* diamati ( $^{\circ}\text{C}$ )

P = Tekanan pada *Flash Point* tertentu (kPa)

Pada saat suhu  $51^{\circ}\text{C}$  tekanan yang terukur pada barometer adalah sebesar 95 kPa (data saat pengujian), maka akan didapat *flash point* secara teoritis sebesar :

$$\text{Flash point} = 51 + 0,25(101,3 - 95)$$

$$\text{Flash point} = 51 + 0,25(6,3)$$

$$\text{Flash point} = 51 + 1,575$$

$$\text{Flash point} = 52,575^{\circ}\text{C}$$

### C. Perhitungan Nilai Kekentalan/*Viscosity*

*Viscosity* adalah suatu ukuran dari dasar perlawanan zat cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dalam dari suatu benda cair. Pada umumnya makin tinggi drajat API, makin kecil viscositasnya. Menentukan besar nilai kekentalan plastik yang sudah diolah, dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\mu = k \times t \text{ (persamaan kekentalan dinamis)}$$

$$v = \mu/\rho \text{ (persamaan kekentalan kinetik)}$$

- **Massa jenis (*Density*)**

$$\rho = m/V$$

Pada pengujian plastik, berat yang terukur pada penimbang adalah sebesar 3 kg, dan volume wadah sebesar 0,8 L, maka didapatkan besar massa jenis (*Density*) adalah:

$$\rho = m/V$$

$$\rho = 3 \text{ kg}/0,8 \text{ L}$$

$$\rho = 3,75 \text{ kg/L}$$

$$\rho = 3750 \text{ kg/m}^3$$

- **Kekentalan Dinamis**

Nilai dari kekentalan dinamis kita asumsikan sebesar 1,2 Cp berdasarkan tabel 4.2 referensi dibawah.

Tabel 4. 2 Perbandingan Viskositas dan Densitas Jenis Plastik

Jenis plastik	Viskositas dina mis (cP)	Viskositas kinem atis (cSt)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	referensi
PETE	-	0,80	770	(Kamal, 2022)
PETE	1,2	-	794	(Lubis et al., 2022)
HDPE	-	1,188	777,2	(Amalia Ardianti, 2019)

HDPE	0,77	-	769	(Lubis et al., 2022)
LDPE	-	1,464	777,5	(Liestiono et al., 2017)
LDPE	1,95	-	704,4	(Wisnujati & Yudhanto, 2020)
PP	0,756	-	750, 4	(Jahiding et al., 2020)
PP	0,65	-	767,8	(Adeo et al., 2016)
PS	-	0,991	905	(Amalia Ardianti, 2019)
PS	-	1,99	773,7	(Aswan et al., 2021)

---

Dimana  $1,2C_p=0,0012 \text{ Ns/m}^2$

- **Kekentalan Kinetis**

Maka kekentalan kinetis diperoleh sebesar:

$$v = \mu/\rho$$

$$v = \frac{0,0012 \text{ Ns/m}^2}{3750 \text{ kg/m}^3}$$

$$v=0,0032 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$v=0,32 \text{ mm}^2/\text{s}$$

#### 4.1.2 Nilai Kalor, *Flash Point* dan Nilai Kekentalan Berdasarkan Pengujian

Data nilai kalor, *Flash point* dan nilai kekentalan pengujian dilakukan di Laboratorium Mesin Politeknik Negeri Medan, dengan hasil pengujian dalam bentuk lampiran.

#### 4.2 Bahan Bakar dari Plastik PET

Data yang dihasilkan dari perhitungan teoritis dengan pengujian dilaboratorium tidak jauh beda dimana data secara teoritis bisa di lihat pada tabel 4.3 dan data pengujian dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 3 Data Perhitungan Secara Teoritis

No	Perhitungan	Nilai
1	Nilai Kalor	45,134 Mj/kg
2	<i>Flash Point</i>	52,575 °C
3	Nilai Kekentalan Kinetis	3,2 mm <sup>2</sup> /s

Tabel 4. 4 Data Pengujian Laboratorium Politeknik Medan

No	Pengujian	Nilai
1	Nilai Kalor	45,4 Mj/kg
2	<i>Flash Point</i>	52,23 °C
3	Nilai Kekentalan Kinetis	3,03 mm <sup>2</sup> /s

Berdasarkan data tersebut, maka bisa kita lihat bahwa data nilai kalor, *Flash Point* dan nilai kekentalan berdasarkan hasil perhitungan teoritis tidak jauh beda dengan hasil pengujian.

### 4.3 Bahan Bakar Fosil

Didalam kehidupan sehari-hari, kegiatan manusia dalam mobilitas kendaraan tidak lepas dari namanya bahan bakar, bahan bakar yang dipakai dalam berabad-abad ini adalah bahan bakar kendaraan yaitu bensin, bensin yang dipakai kendaraan ada beberapa kategori, yaitu: pertamax, pertalite dan solar. Bahan bakar fosil tentunya memiliki nilai kalor, *flash point* dan kekentalan tertentu, sehingga bahan bakar fosil ini cenderung dipakai untuk bahan bakar untuk kendaraan bermotor, sedangkan kita ketahui bahwa bahan bakar fosil adalah bahan yang langka (tidak terbaharukan), dimana pada waktu tertentu bahan bakar fosil tentunya akan habis, jadi para *Engineer* berusaha mencari bahan bakar yang akan menggantikan bahan bakar fosil suatu waktu, pada bahan bakar ini saya berfokus untuk menganalisa bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan yaitu bahan bakar yang dihasilkan dari plastik PET, berikut uraian yang akan saya bahas untuk menganalisa bahan bakar fosil dan bahan bakar dari plastik. Berdasarkan riset nilai kalor untuk bahan bakar fosil, ditampilkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Data Bahan Bakar Fosil

Bahan Bakar	Nilai Kalor(MJ/kg)	Flash Point( <sup>o</sup> C)	Viscosity(mm <sup>2</sup> /s)	Densitas(kg/m <sup>3</sup> )
Premium	43,96	20-27	9,15-25,9	710-770
Pertalite	44,14	20-28	9,09-25,9	715-770
Pertamax	44,24	25-30	9,79-25,9	715-770

Sumber:Geo-Resources

#### 4.4 Analisis Data

Dari data yang sudah diuraikan,maka bahan bakar dari plastik dan bahan bakar fosil,memiliki beberapa nilai kalor,*flash point* dan nilai kekentalan(*Viscosity*) yang tidak terlalu jauh beda,maka perbandingan bahan bakar dari plastik dengan bahan bakar fosil akan kita bahas pada subbab 4.4 ini.

##### 4.4.1 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas/kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/oksigen.Nilai kalor untuk untuk bahan bakar plastik secara teoritis adalah 45,134 Mj/kg dan secara pengujian di laborotorium 45,4 MJ/kg, dan nilai kalor bahan fosil premium 43,96 MJ/kg,pertalite 44,14 MJ/kg dan pertamax 44,24 MJ/kg,ditampilkan pada tabel 4.6 dibawah.

Tabel 4.6 Nilai Kalor Bahan Bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor(MJ/kg)
Plastik PET	45,4
Premium	43,96
Pertalite	45,14
Pertamax	44,24

##### 4.4.2 Flash point

*Flash Point* adalah Suhu terendah suatu bahan yang mengeluarkan uap/gas, akan menyala dan terbakar sekejap bila dikenai sumber panas atau pilot flame. Semakin rendah titik nyala maka bahan tersebut semakin mudah terbakar atau nyala.*Flash Point* untuk plastik secara teoritis sebesar 52,575 <sup>o</sup>C dan secara

pengujian di laboratorium sebesar 52,23 °C, dan *Flash point* untuk bahan bakar fosil premium sebesar 20-27 °C, pertalite 20-28 °C dan pertamax 25-30 °C, ditampilkan pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 *Flash Point* Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	<i>Flash Point</i> (°C)
Plastik PET	52,23
Premium	20-27
Pertalite	20-28
Pertamax	25-30

#### 4.4.3 *Viscosity*(Nilai Kekentalan)

*Viscosity* adalah suatu ukuran dari dasar perlawanan zat cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dalam dari suatu benda cair. Pada umumnya makin tinggi drajat API, makin kecil viscositasnya. *Viscosity* untuk plastik secara teoritis adalah 3,2 mm<sup>2</sup>/s dan secara pengujian di laboratorium sebesar 3,03 mm<sup>2</sup>/s, dan *viscosity* bahan bakar fosil premium sebesar 9,15-25,9 mm<sup>2</sup>/s, Pertalite sebesar 9,09-25,9 mm<sup>2</sup>/s dan Pertamax sebesar 9,79-25,9 mm<sup>2</sup>/s, ditampilkan pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Nilai Kekentalan dinamis (*Viscosity*) Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	<i>Viscosity</i> (mm <sup>2</sup> /s)
Plastik PET	3,03
Premium	9,15-25,9
Pertalite	9,09-25,9
Pertamax	9,79-25,9

#### 4.4.4 Nilai Kalor, *Flash Point* dan *Viscosity*(Nilai Kekentalan)

Nilai Kalor, *Flash Point* dan *Viscosity* bahan bakar plastik dengan bahan bakar fosil memiliki nilai kalor yang hampir sama sedangkan untuk *Flash point* dan *Viscosity* memiliki perbedaan yang signifikan, perbedaan signifikan inilah yang mengakibatkan penggunaan bahan bakar fosil lebih dipakai karena mempengaruhi

kinerja kerja mesin yang diisi oleh bahan bakar,berikut perbandingan bahan bakar plastik dengan bahan bakar fosil terhadap nilai kalor,*Flash point* dan *Viscosity* ditampilkan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Nilai Kalor,*Flash Point* dan *Viscosity*

<b>Jenis Bahan Bakar</b>	<b>Nilai Kalor(MJ/kg)</b>	<b><i>Flash Point</i>(<sup>0</sup>C)</b>	<b><i>Viscosity</i>(mm<sup>2</sup>/s)</b>
Plastik PET	45,4	52,23	3,03
Premium	43,96	20-27	9,15-25,9
Pertalite	45,14	20-28	9,09-25,9
Pertamax	44,24	25-30	9,79-25,9

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai kalor bahan bakar dari plastik adalah 45,4 Mj/kg, nilai kalor bahan bakar fosil premium 43,96 Mj/kg, Pertalite 45,14 Mj/kg dan pertamax 44,24 Mj/kg, *Flash Point* bahan bakar dari plastik adalah 52,23 °C, bahan bakar fosil premium 20-27 °C, pertalite 20-28 °C dan pertamax 25-30 °C, sedangkan *viscosity* bahan bakar dari plastik adalah 3,03 mm<sup>2</sup>/s, bahan bakar fosil premium 9,15-25,9 mm<sup>2</sup>/s, pertalite 9,09-25,9 mm<sup>2</sup>/s dan pertamax 9,79-25,9 mm<sup>2</sup>/s.
2. Nilai kalor dari bahan bakar plastik dengan nilai kalor dari bahan bakar fosil memiliki nilai yang hampir sama, namun untuk *flash point* dan *viscosity* bahan bakar dari plastik dengan bahan bakar fosil memiliki perbedaan yang cukup jauh, hal ini menjadi acuan optimal mengapa bahan bakar fosil lebih banyak digunakan atau dikonsumsi dalam penerapannya ke mesin kendaraan dibandingkan dengan bahan bakar plastik.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi sebagai upaya dalam meningkatkan kinerja mesin yang lebih optimal dan ramah lingkungan serta penghematan dalam penggunaan BBM.
2. Adapun rekomendasi yang diberikan oleh peneliti dalam uji coba pada penelitian ini masih menggunakan sistem pengujian oleh pihak laboratorium sedangkan untuk hasil yang lebih akurat dapat uji coba menggunakan pengujian dengan *tester* yang lebih canggih untuk mengetahui performa mesin dan konsumsi bahan bakar yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adityo, A., & Budiprasojo, A. 2016. nilai kalor campuran premium dengan bahan bakar polypropilene hasil proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Rotary*, 1(1), 27-32.
- Akhtar, J., & Amin, N. S. 2012. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5101-5109.
- Aprian Ramadhan P. dan Munawar Ali. 2012. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak, *Scientific Journal of Environmental Engineering* Vol. 4 No.1, Universitas Pembangunan Nasional (UPN), Surabaya
- Arwizet, A. 2017. Mesin Destilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 17(2), 75-88.
- Assi, R. 2008. The relation between gasoline quality, octane number and the environment. In *Amman: Jordan National Workshop-Presentation*.
- Azwar. 1990. Definisi Pengelolaan Sampah. Jakarta: Rineka Cipta.
- Basriyanta. 2007. Memanen Sampah. Yogyakarta: Kanisius.
- Basu, P. 2010. *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Academic press.
- Brady, J. E. 1999. Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1. *Jakarta: Erlangga*.
- Brown, T. A. 2015. *Confirmatory factor analysis for applied research*. Guilford publications.
- Culp, A. W. 1996. Prinsip-prinsip konversi energi. *Penerbit Erlangga: Jakarta*.
- Das, S., & Pandey, S. 2007. *Pyrolysis and catalytic cracking of municipal plastic waste for recovery of gasoline range hydrocarbons* (Doctoral dissertation).
- Ermawati, R. 2011. Konversi limbah plastik sebagai sumber energi alternatif. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 5(3), 257-263.
- Finet, C. 1985. Heating Value of Municipal Solid Waste. Published by Sage Publications, on behalf of International Solid Waste Association.

- Hadiwiyoto, S. 1983. *Penanganan dan pemanfaatan sampah*. Yayasan Idayu.
- Ilhamdika, M. 2017. *Analisa Dampak Lingkungan Dari Proses Daur Ulang Plastik Dengan Pendekatan Life Cycle Assessment* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Indartono, Y. S. 2006. Mengenal Biodiesel: Karakteristik, produksi hingga performansi mesin (3). *Jakarta*.
- Joners, D.S.J. 1995. "Elemen of Petroleum Processing". New York : John Willey & Sons, Inc.
- Kadir, K. 2012. Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar cair. *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2).
- Kumar, S., Panda, A. K., & Singh, R. K. 2011. A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 893-910.
- Lardinois, I., & Van de Klundert, A. 1994. Recovery of organic wastes in cities. *ILEIA Newsletter*, 10(3), 6-8.
- Lee, K. H., Shin, D. H., & Seo, Y. H. 2004. Liquid-phase catalytic degradation of mixtures of waste high-density polyethylene and polystyrene over spent FCC catalyst. Effect of mixing proportions of reactants. *Polymer degradation and stability*, 84(1), 123-127.
- López, A., De Marco, I., Caballero, B. M., Laresgoiti, M. F., & Adrados, A. 2011. Influence of time and temperature on pyrolysis of plastic wastes in a semi-batch reactor. *Chemical Engineering Journal*, 173(1), 62-71.
- Massey, B. S., & Ward-Smith, J. 1983. *Mechanics of Fluids: 5<sup>th</sup> Edition*. Stanley Thornes. Cheltenham.
- Meyers, R.A. 1990. "Handbook of Petroleum Refining Recess". Third Edition. New York: McGraw-Hill International Book.
- Miller, S. J., Shah, N., & Huffman, G. P. 2005. Conversion of waste plastic to lubricating base oil. *Energy & fuels*, 19(4), 1580-1586.
- Mujiarto, I. 2005. Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif. *Traksi*, 3(2), 65.

- Muthohar, A. 2012. Pemanfaatan Limbah Kulit Jerami Nangka (*Artocarpus Heterphyllus*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif (Bioethanol). *Surabaya: Universitas Negeri Surabaya*.
- Nasrun, N., Kurniawan, E., & Sari, I. 2017. Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*, 4(1).
- Transesterifikasi, Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Universitas Malikussaleh, Aceh
- Novandy, A. 2013. KORELASI ANGKA OKTAN DAN NILAI KALOR BENSIN. *Swara Patra*, 3(4).
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A., & Gunardi, I. 2013. Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses Reforming Dengan Katalis NiO/Γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), F299-F302.
- Osueke, C. O., & Ofondu, I. O. 2011. Conversion of waste plastics (polyethylene) to fuel by means of pyrolysis. *Int J Adv Eng Sci Technol*, 4, 21-24.
- Pratama, N. N., & Saptoadi, H. 2014. Characteristics of Waste Plastics Pyrolytic Oil and Its Applications as Alternative Fuel on Four Cylinder Diesel Engines. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(1).
- Putra, Y. H. S., I. Yuriandala, dan Y. S. Rahayu. 2010. *Pendampingan Kementerian Pengolahan Limbah Botol Plastik Menjadi Produk Bernilai Ekonomis Pada Masyarakat Desa Girimoyo Karangploso Malang*. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rafi, A. 2019. Analisis energi terbrukan pada proses pirolisis dengan memanfaatkan sampah plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(01), 30.
- Sarker, M., Rashid, M. M., & Molla, M. 2012. Waste polypropylene plastic conversion into liquid hydrocarbon fuel for producing electricity and energies. *Environmental technology*, 33(24), 2709-2721.
- Scheirs, J., & Kaminsky, W. (Eds.). 2006. *Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics: converting waste plastics into diesel and other fuels*. John Wiley & Sons Incorporated.
- Senthilkumar, M., Srividhya, V., & Mahalakshmi, D. 2015. Phytochemical screening of bioactive compounds from *pleurotus ostreatus* (JACQ. FR)

- KUMM.,-An wild edible mushroom. *World Jurnal of Pharmaceutical Research*, 4(5), 1603-1618.
- Soemirat, J. 2000. Kesehatan Lingkungan. Bandung: Gadjah Mada University Press (Cetakan Keempat).
- Sri Pangestu, 2000. *Pengaruh Temperatur dan waktu pemanasan pada proses pirolisis PET/PP terhadap karakteristik bahan bakar* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Jember).
- Syafari, 2011. Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Metode Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., & Yoshikawa, K. 2014. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. *Energy Procedia*, 47,180-188.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. 1993. Integrated solid waste management. McGraw-Hill, New York. *HA Abu-Qdais et al.*
- Turns, S. R. (1996). *Introduction to combustion* (Vol. 287, p. 569). New York, NY, USA: McGraw-Hill Companies.
- Uddin, M. A., Koizumi, K., Murata, K., & Sakata, Y. 1997. Thermal and catalytic degradation of structurally different types of polyethylene into fuel oil. *Polymer degradation and stability*, 56(1), 37-44.
- Vesilind, P. A., & Worrell, W. A. 2002. *Solid waste engineering/P. Aarne Vesilind, William A. Worrell, Debra R. Reinhart.*
- Wicaksono, M. A., & Arijanto, A. 2017. Pengolahan sampah plastik jenis PET (Polyethylene terephthalate) menggunakan metode pirolisis menjadi bahan bakar alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9-15.
- Wiratmaja, I. G. 2010. Pengujian karakteristik fisika biogasoline sebagai bahan bakar alternatif pengganti bensin murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 145-154.
- Yang, J., Miranda, R., & Roy, C. 2001. Using the DTG curve fitting method to determine the apparent kinetic parameters of thermal decomposition of polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 73(3), 455-461.
- Zuhra, C. F. 2003. Penyulingan, pemrosesan dan penggunaan minyak bumi. *Universitas Sumatra Utara.*

## LAMPIRAN

DATA PENGUJIAN PADA LABORATORIUM MESIN DI POLITEKNIK NEGERI MEDAN (POLMED)

 **PUSAT ENERGI BARU TERBARUKAN  
POLITEKNIK NEGERI MEDAN**  
Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155, Indonesia  
Telp. (061) 8210371, 8211235, 8213951, Fax : (061) 8215845  
<http://www.polmed.ac.id> e-mail : [polmed@polmed.ac.id](mailto:polmed@polmed.ac.id),  
[ebt@polmed.ac.id](mailto:ebt@polmed.ac.id) 

---

**LAPORAN HASIL UJI KARAKTERISTIK**  
**NO : 015/EBT/EN/2023**

Nama Customer : Ahmad Hasbi Nawawi  
Perusahaan/ Institusi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jenis Sampel : Pirolisis

Tabel 1. Hasil Uji Viskositas, Flash Point, Nilai Kalor

No	Nama Sampel	Nilai Kalor (MJ/Kg)	Flash Point °C	Viskositas mm <sup>2</sup> /s
1	Pirolisis	45.4	52.23	3.03

Diuji Oleh	Disaksikan Oleh:	Tanggal:
 Belal Nurhidayah A.Md.T	 M. Anhar Pulungan, S.T., M.T. NIP. 19680417 199801 2 001	

EBT POLMED



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terampil

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

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor : 810/II.3AU/UMSU-07/F/2023**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 25 Agustus 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : AHMAD HASBI NAWAWI  
Npm : 1707230104  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : XII ( DUA BELAS )  
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERBANDINGAN KUALITAS BAHAN BAKAR ALTERNATIF MEMANFAATKAN LIMBAH PLASTIK PET DAN BAHAN BAKAR FOSIL

Pembimbing : H.MUHARNIF ST.M.Sc

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, 09 Shafar 1445 H  
26 Agustus 2023 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT  
NIDN: 0101017202



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama : AHMAD HASBI NAWAWI  
NPM : 1707230104  
Fakultas/Prodi : Teknik / Teknik Mesin  
Tempat / Tgl. Lahir : Suka Raja / 04 April 1999  
Agama : Islam  
Alamat : Dusun – V Aras Air Putih – Batubara  
No. Telp : 0853 7366 6771  
E-mail : [ahmadhasbinawawi@gmail.com](mailto:ahmadhasbinawawi@gmail.com)

### PENDIDIKAN FORMAL

- Tahun 2004 – 2010 : SD. Al Wahliyah – Suka Rraja
- Tahun 2010 – 2013 : MTs. Al Wahliyah – Tanjung Kubah
- Tahun 2013 – 2016 : SMK Negeri 1 – Air Putih

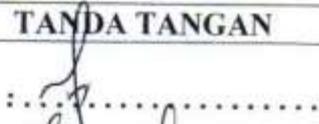
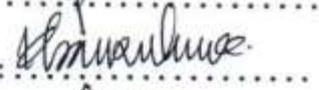
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2022 – 2023**

Peserta seminar

Nama : Ahmad Hasbi Nawawi

NPM : 1707230104

Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
<b>Pembimbing – I</b> : H. Muharnif, ST, M.Sc	:..... 
<b>Pembanding – I</b> : Khairul Umurani, ST, MT	:..... 
<b>Pembanding – II</b> : Rahmatullah, ST, M.Sc	:..... 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1707230056	Iqbal Rahmanda manik	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 22 Shafar 1445 H  
07 September 2023 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT



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

---

Nama : Ahmad Hasbi Nawawi  
NPM : 1707230104  
Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil

Dosen Pembanding – I : Khairul Umurani, ST, MT  
Dosen Pembanding – II : Rahmatullah, ST, M.Sc  
Dosen Pembimbing – I : H. Muharnif, ST, M.Sc

**KEPUTUSAN**

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

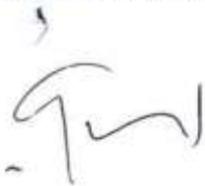
Perbaikan sesuai Denda Komarsi  
.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

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

Medan 22 Shafar 1445 H  
07 September 2023 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



Rahmatullah, ST, M.Sc

## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisis Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Alternatif Memanfaatkan Limbah Plastik PET Dan Bahan Bakar Fosil

Nama : Ahmad Hasbi Nawawi

NPM : 1707230104

Dosen Pembimbing : H. Muharnif M, S.T., M.Sc

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Jumat/8-9-2023	- Perbaiki Bab 1 - Abstrak - Daftar Isi	f
2	Sabtu/9-9-2023	- Perbaiki Bab 1 - Maksud - Tujuan	f
3	Senin/11-9-2023	- Perbaiki Bab 5 - tabel	f
4	Senin/11-9-2023	- Perbaiki gambar - Perbaiki gambar gambar	f
5	Selasa/12-9-2023	- Bagian akhir Peracikan - Prosedur	f
6	Rabu/13-09-2023	- Bab 4 - Perhitungan analisis	f
7	Kamis/14-09-2023	- Perbaiki Bab 5 - Kesimpulan - Daftar Pustaka	f
		Acc sidang	f