



TUGAS AKHIR - TK 145501

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DAN PENAMBAHAN KATALIS ZEOLIT

ALIFA ADINDA PANGESTU
NRP. 1041150000018

YUSUF ROBBANI
NRP. 1041150000096

Dosen Pembimbing
Ir. Budi Setiawan, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – TK145501

**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK MENJADI BAHAN
BAKAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS
DAN PENAMBAHAN KATALIS ZEOLIT**

ALIFA ADINDA PANGESTU
NRP. 1041150000018

YUSUF ROBBANI
NRP. 1041150000096

Dosen Pembimbing :
Ir. Budi Setiawan, MT.
NIP. 19540220 198701 1 001

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT – TK145501

**PROCESSING OF PLASTIC WASTE INTO FUEL USING
PYROLYSIS METHOD AND ADDITIONAL OF ZEOLITE
CATALYST**

ALIFA ADINDA PANGESTU
NRP. 10411500000018

YUSUF ROBBANI
NRP. 10411500000096

Dosen Pembimbing :
Ir. Budi setiawan, MT.
NIP. 19540220 198701 1 001

**DEPARTEMEN OF INDUSTRIAL CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of VOCATIONAL
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL :
PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK MENJADI BAHAN
BAKAR MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DAN
PENAMBAHAN KATALIS

TUGAS AKHIR
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya pada Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Alifa Adinda Pangestu (NRP 10411500000018)
Yusuf Robbani (NRP 10411500000096)

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir
Dosen Pembimbing



Ir. Budi Setiawan, MT
NIP. 19540220 198503 2 001

Departemen Teknik Kimia Industri

Mengetahui,

Kepala



SURABAYA, 23 JULI 2018
LEMBAR REVISI

Telah diperiksa dan disetujui sesuai hasil ujian tugas akhir pada 3 Juli 2018 untuk tugas akhir dengan judul "Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Metode Pirolisis dan Penambahan Katalis Zeolit", yang disusun oleh :

Alifa Adinda Pangestu (NRP 1041150000018)
Yusuf Robbani (NRP 1041150000058)

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

3. Prof.Dr.Ir Soeprijanto, M.Sc



4. Achmad Ferdiansyah P. P., ST, MT



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

2. Ir. Budi Setiawan, MT



SURABAYA, 23 JULI 2018

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan bagi seluruh alam. Hanya dengan Rahmat dan Hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir kami yang berjudul **Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Dengan Menggunakan Metode Pirolisis dan Penambahan Katalis Zeolit**. Tugas akhir ini disusun sebagai tugas yang harus ditempuh dan diselesaikan di akhir semester ini sebagai persyaratan kelulusan Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah mahasiswa dapat memahami dan mampu mengenal prinsip-prinsip perhitungan dari peralatan-peralatan industri terutama industri kimia yang telah dipelajari di bangku kuliah serta aplikasinya dalam sebuah perencanaan pabrik.

Penulis menyampaikan terima kasih yang kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan serta bimbingan hingga terselesaikannya Tugas Akhir yang telah penulis buat, antara lain kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kami Rahmat, Hidayah-Nya serta memberikan kesabaran dan kekuatan yang tidak terkira kepada hamba-Nya.
2. Ayah, Ibu, Kakak, keluarga dan teman-teman yang senantiasa telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis secara moril dan materil serta do'a yang membuat penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat waktu serta usaha yang maksimal.
3. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Ibu Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng. selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

5. Bapak Ir. Budi Setiawan, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, MSc. dan Bapak Achmad Ferdiansyah P. P., ST. MT. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Danawati Hari Prajitno, M.Pd. dan Bapak Ir. Budi Setiawan, MT. selaku Dosen Wali kami di kampus Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Segenap Dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
9. Rekan-rekan seperjuangan, angkatan 2015 Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
10. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengucapkan mohon maaf kepada semua pihak jika dalam proses dari awal sampai akhir penulisan penelitian Tugas Akhir ini ada kata-kata atau perilaku yang kurang berkenan. Terima kasih atas perhatiannya dan kerjasamanya.

Surabaya, 27 Juli 2018

TTD

Penulis

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DAN PENAMBAHAN KATALIS ZEOLIT

Nama Mahasiswa:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Alifa Adinda Pangestu | 10411500000018 |
| 2. Yusuf Robbani | 10411500000096 |
| Program Studi | : Teknik Kimia Industri FV-ITS |
| Dosen Pembimbing | : Ir. Budi Setiawan, MT. |

ABSTRAK

Penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi, industri dan juga populasi penduduk akibat dari peningkatan penggunaan sampah plastik ini adalah bertambah pula sampah plastik. Plastik yang sudah menjadi sampah akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Oleh karena itu, diperlukan metode yang dapat mengolah sampah namun tidak menimbulkan masalah baru lainnya salah satu metode pengolahan sampah yang telah dikembangkan, yaitu metode pirolisis. Metode pirolisis dapat merubah sampah menjadi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh jenis plastik dan penambahan katalis terhadap produk hasil pirolisis.

Proses pembuatan bahan bakar dari limbah menggunakan metode pirolisis dengan memotong sampel kemudian mencampur dengan zeolit sesuai variabel yang ditentukan lalu memanaskan tungku pembakaran. Lalu mengambil sampel dari hasil pirolisis setelah itu di analisa kualitas bahan bakar meliputi densitas, viskositas, fire point, nilai kalor.

Hasil dari percobaan Pirolisis campuran sampah plastik PET dan PS adalah semakin tinggi suhu pemanasan hasil minyak yang dihasilkan akan semakin banyak zat yang akan terurai menjadi gas dan cair (minyak) Volume terbanyak tanpa penambahan katalis terdapat pada suhu 320 °C yaitu sebanyak 55 mL dan volume terkecil terdapat pada suhu 200 °C yaitu sebanyak 14 mL. Volume terbanyak dengan penambahan katalis terdapat pada suhu 320 °C yaitu sebanyak 51 mL dan volume terkecil terdapat pada suhu 200 °C yaitu sebanyak 11 mL.

Kata kunci: pirolisis, katalis, plastik

PROCESSING OF PLASTIC WASTE INTO FUEL USING PYROLYSIS METHOD AND ADDITIONAL OF ZEOLITE CATALYST

Student Names :

1. Alifa Adinda Pangestu 10411500000018

2. Yusuf Robbani 10411500000096

Department : Department of Chemical Engineering Industry

Supervisor : Ir. Budi Setiawan, MT.

ABSTRACT

The use of plastic and plastic-based goods is increasing along with the development of technology, industry and population as a result of increased use of plastic waste is also increasing plastic waste. Plastics that usdah become garbage will have a negative impact on the environment because it can not decompose quickly and can reduce soil fertility. Therefore, a method that can be used to process waste but does not create another new problem one of the methods of waste processing that has been developed, namely pyrolysis method. The pyrolysis method can convert waste into fuel. This study aims to determine the influence of plastic types and the addition of catalysts to pyrolysis products.

The process of making fuels from waste uses pyrolysis method by cutting the sample then mixing with zeolite according to the specified variable then cooking the furnace. Then take a sample of pyrolysis results after it dianalisis kualitas fuel includes density, viscosity, fire point, value of calor.

The results of the PET and PS plastic pyrolysis mixture experiments are the higher the heating temperature of the resulting oil yields the more substances that will decompose into gases and liquids (oil) The highest volume without the addition of catalysts is at 320 °C which is as much as 55 mL and the smallest volume there is at a temperature of 200 °C that is as much as 14 mL. The highest volume with the addition of catalyst is at temperature 320 °C that is as much as 51 mL and the smallest volume is at temperature 200 °C that is as much as 11 mL.

Keywords: pyrolysis, catalyst, plastic

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSETUJUAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Inovasi Produk.....	I-3
1.5 Manfaat Produk.....	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Bahan Bakar Cair.....	II-1
2.2 Plastik	II-2
2.2.1 Pengertian Plastik	II-2
2.2.2 Karakterisasi Plastik	II-3
2.3 Pirolisis	II-18
2.4 Katalis Zeolit	II-20
2.4.1 Pengertian Zeolit.....	II-20
2.4.2 Struktur Zeolit.....	II-21
2.4.3 Sifat Zeolit	II-22
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Tahap Pelaksanaan.....	III-1
3.2 Bahan yang Digunakan	III-1
3.3 Peralatan yang Digunakan	III-1
3.4 Variabel yang Digunakan	III-2
3.5 Prosedur Pembuatan Bahan Bakar Cair.....	III-2
3.5.1 Tahap Persiapan.....	III-2

3.5.2	Perangkaian Alat.....	III-2
3.5.3	Prosedur Percobaan.....	III-4
3.5.4	Analisa Hasil Pirolisis.....	III-7
BAB IV HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Proses Pirolisis	IV-1
4.2	Analisa Bahan Bakar Cair.....	IV-5
4.2.1	Analisa Densitas Bahan Bakar Cair Terhadap Minyak Pirolisis	IV-6
4.2.2	Analisa Viskositas Bahan Bakar Cair Terhadap Minyak Pirolisis.....	IV-7
4.2.3	Analisa Fire Point Bahan Bakar Cair Terhadap Minyak Pirolisis.....	IV-8
4.2.4	Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Terhadap Minyak Pirolisis.....	IV-9
BAB V NERACA MASSA		
5.1	Neraca Massa.....	V-1
5.1.1	Neraca Massa Pirolisis.....	V-1
BAB VI NERACA PANAS		
6.1	Neraca Panas.....	VI-1
6.1.1	Neraca Panas Pirolisis.....	VI-1
BAB VII ESTIMASI BIAYA		
7.1	Estimasi Biaya	VII-1
7.1.1	Peralatan (Equipment)	VII-1
7.1.2	Biaya Kebutuhan Bahan Baku	VII-2
7.1.3	Utilitas.....	VII-2
7.2	Fixed Cost.....	VII-3
7.3	Variable Cost	VII-5
7.4	Harga Penjualan Pokok.....	VII-5
7.5	Break Even Point (BEP)	VII-6
BAB VIII KESIMPULAN		
8.1	Kesimpulan	VIII-1
8.2	Saran	VIII-2
8.3	Instrumentasi pada Pabrik.....	73
DAFTAR NOTASI		xi
DAFTAR PUSTAKA		xiii

LAMPIRAN :

APPENDIX A

APPENDIX B

APPENDIX C

Literatur

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Zeolit	II-22
Gambar 3.2	Proses Pirolisis	III-6

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak yang Dihasilkan	IV-2
Grafik 4.2	Analisa Densitas Minyak Pirolisis.....	IV-6
Grafik 4.3	Analisa Viskositas Minyak Pirolisis.....	IV-7
Grafik 4.4	Analisa Fire Point Minyak Pirolisis.....	IV-8
Grafik 4.5	Analisa Nilai Kalor Minyak Pirolisis	IV-9
Grafik 8.1	Grafik BEP	VIII-8

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Spesifik Gravity dari Berbagai Material Plastik	II-4
Tabel 2.2	Temperatur Leleh Proses Termoplastik	II-5
Tabel 2.3	Karakteristik Base Oil dari LDPE	II-16
Tabel 2.4	Karakteristik HDPE	II-17
Tabel 2.5	Sifat Fisika dan Kimia HDPE	II-17
Tabel 2.6	Karakteristik HDPE	II-17
Tabel 4.1	Tabel Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak yang Dihasilkan Tanpa Penambahan Katalis	IV-1
Tabel 4.2	Tabel Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak yang Dihasilkan dengan Penambahan Katalis	IV-1
Tabel 4.3	Perbandingan Karakterisasi Minyak Pirolisis dengan Solar	IV-5
Tabel 5.1	Neraca Massa Aliran Masuk	V-1
Tabel 5.2	Neraca Massa Over All	V-2
Tabel 6.1	Heat Capacity Komponen	VI-1
Tabel 6.2	Heat Fusion Komponen	VI-2
Tabel 6.3	Panas Komponen Masuk	VI-2
Tabel 6.4	Panas Komponen Keluar	VI-3
Tabel 6.5	Heat Fusion Reaktan	VI-4
Tabel 6.6	Heat Balance	VI-4
Tabel 7.1	Biaya Investasi Peralatan Per Bulan	VII-1
Tabel 7.2	Biaya Kebutuhan Bahan Baku Produksi Per Produk	VII-2
Tabel 7.3	Biaya Utilitas Per Bulan	VII-3
Tabel 7.4	Biaya Pendukung Lainnya Per Bulan	VII-3

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara yang jumlah konsumsi untuk penggunaan plastik sangat tinggi. Hal ini menyebabkan meningkatkan jumlah limbah plastik di Indonesia, bila tidak diantisipasi sejak sekarang tentunya akan menjadi masalah di masa mendatang. Hal ini mendorong munculnya ide untuk mengolah limbah plastik tersebut untuk mengurangi peningkatan limbah di Indonesia. Plastik yang digunakan sehari-hari biasanya dibuang begitu saja bahkan ada yang dimanfaatkan kembali tanpa proses daur ulang yang benar. Oleh karena itu akan lebih aman dan tepat apabila plastik dapat diolah kembali menjadi bahan yang bermanfaat.

Berdasarkan data dan riset, pada tahun 1930 penggunaannya hanya beberapa ratus ton menjadi 150 juta ton/tahun pada 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005. Saat ini penggunaan plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60kg/orang/tahun. Amerika Serikat mencapai 80kg/orang/tahun, sementara itu Indonesia sendiri dalam mengkonsumsi sampah plastik sampai dengan 64 juta ton/tahun. Sampah plastik yang tidak terpungut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode landfill atau open dump. Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), kurang efektif dan beresiko sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO₂, CO, NO_x dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemaran lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik (*Prasetyo, 2010*).



Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan (Mulyadi, 2004). perlu dicari data-data kinetika pirolisis dan penentuan kondisi operasi yang sesuai. Data-data itu berguna untuk rancang bangun reaktor pirolisis dan membandingkan minyak yang dihasilkan dari dua jenis sampah plastik dengan penambahan katalis dan tanpa penambahan katalis

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam inovasi produk ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan katalis terhadap hasil minyak sampah plastic pada metode Pirolisis ?
2. Bagaimanakah pengaruh suhu operasi pada metode Pirolisis ?

1.3. Batasan Masalah

Dalam inovasi metode pirolisis sampah plastik ini, dilakukan pembatasan masalah dengan ruang lingkup sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan adalah sampah botol plastik PET dan plastik Polistirena.



2. Produk yang dibuat bertujuan untuk mengurangi volume sampah plastik di lingkungan.

I.4. Tujuan Inovasi Produk

Tujuan inovasi metode pirolisis ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penambahan katalis pada metode Pirolisis
2. Menganalisis pengaruh suhu operasi pada metode Pirolisis

1.5 Manfaat Produk

Manfaat dari inovasi metode pirolisis ini adalah :

1. Mendapatkan bahan bakar cair dari limbah sampah plastik dengan penggunaan metode pirolisis, serta menghasilkan kualitas yang optimum sebagai bahan bakar cair.
2. Sebagai upaya untuk mengurangi volume sampah plastik yang ada di sekitar.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar Cair

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*).

Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan efisiensi thermis yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. Beberapa kelebihan bahan bakar cair dibandingkan dengan bahan bakar padat antara lain :

- Kebersihan dari hasil pembakaran
- Menggunakan alat bakar yang lebih kompak
- Penanganannya lebih mudah

Salah satu kekurangan bahan bakar cair ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks.



2.2 Plastik

2.2.1 Pengertian Plastik

Plastik merupakan produk polimerisasi sintetik atau semi sintetik, terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau ekonomi. Terdapat beberapa polimer alami termasuk plastik. Plastik dapat dibentuk menjadi film atau fiber sintetik (*Mujiarto, 2005*).

Di Amerika Serikat, plastik merupakan limbah terbesar, naik dari < 5% berat dari total sampah kota pada tahun 1980 menjadi lebih dari 11% berat saat ini. Pada tahun 2001, sekitar 25 juta ton sampah plastik, hanya sekitar 1 juta ton yang di daur ulang. Di California dan di tempat lain sampah plastik merupakan masalah besar karena biaya yang besar pada pembuangan akhir. Bahkan plastik yang dikumpulkan dan dipisahkan dikirim ke tempat pembuangan sampah karena tidak adanya pasar yang memadai. Sementara Negara hukum di California telah menetapkan tingkat daur ulang sebesar 25%, angka sebenarnya telah turun, dari 24,6% pada tahun 1995 menjadi hanya 17,9% pada tahun 1999. Dari sampah plastik tidak didaur ulang sekitar 43% (sekitar 11 ton MM/tahun) adalah polietilen. Dengan sebagian besar dalam kemasan dan wadah. Penanganan limbah plastik belum seluruhnya dilakukan oleh penduduk Indonesia karena sulitnya plastik untuk diurai. Asumsi sekitar 220 juta penduduk Indonesia sampah plastik yang tertimbun sekitar 26.500 ton/hari, sedangkan jumlah timbunan sampah nasional diperkirakan mencapai 176.000 ton/hari. Sehingga perlu penanganan lebih untuk sampah plastik.



Penggunaan plastik dan kantong plastik memang terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Alhasil, jumlah sampah plastik pun ikut bertambah. Data dari Deputi Pengendalia Pencemaran Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2008 menyebutkan, setiap individu rata-rata menghasilkan 0,8 kilogram sampah dalam satu hari dimana 15 persennya adalah plastik. Dengan asumsi ada sekitar 220 juta penduduk di Indonesia, maka sampah plastik yang tertimbun mencapai 26.500 ton per hari sedangkan jumlah timbunan sampah nasional diperkirakan mencapai 176.000 ton per hari. Data statistik persampahan domestik Indonesia, Kementerian Lingkungan Hidup 2008, menyebutkan jenis sampah plastik sebesar 5,4 juta ton/tahun. Jumlah ini mengalami peningkatan dan mampu menggeser posisi sampah kertas dengan jumlah 3,6 juta ton/tahun. (*Statistik Persampahan Indonesia Tahun, 2008*).

2.2.2 Karakteristik Plastik

Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu : plastik thermoplast dan plastik termoset. Plastik thermoplast adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik thermoplast antara lain : PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, Polyacetal (POM), PC dll. Sedangkan plastik termoset adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik termoset adalah : PU (Poly Urethane), UF (Urea Formaldehyde), MF (Melamine Formaldehyde), polyester, epoksi dll (*Mujiarto, 2005*).



Untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan atau aditif. Penggunaan bahan tambahan ini beraneka ragam tergantung pada bahan baku yang digunakan dan mutu produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan fungsinya, maka bahan tambahan atau bahan pembantu proses dapat dikelompokkan menjadi : bahan pelunak (plasticizer), bahan penstabil (stabilizer), bahan pelumas (lubricant), bahan pengisi (filler), pewarna (colorant), antistatic agent, blowing agent, flame retardant dsb (Mujiarto, 2005).

Menurut Mujiarto (2005), plastik bermacam jenis namun memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Perbedaan terlihat mulai dari sifat hingga spesifik gravitynya. Berikut dijelaskan perbandingan spesifik gravity dan temperatur leleh proses termoplastik dari berbagai material plastik:

A. POLYPROPYLENE (PP)

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gaspropilena. Propilena mempunyai specific gravity rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Sebagai perbandingan terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan spesifik Gravity dari berbagai material plastik

Resin	Spesifik Gravity
PP	0,85 – 0,90
LDPE	0,91 – 0,93



HDPE	0,93 – 0,96
Polistirena	1,05 – 1,08
ABS	0,99 – 1,10
PVC	1,15 – 1,65
Asetil Selulosa	1,23 – 1,34
Nylon	1,09 - 1,14
Polikarbonat	1,20
Poliasetat	1,38

Tabel 2.2 Temperatur Leleh Proses termoplastik

Processing Temperature rate		
Material	o C	o F
ABS	180 - 240	356 – 464
Acetat	185 – 225	365 – 437
Acrylic	180 – 250	356 – 482
Nylon	260 – 290	500 – 554
Polycarbonat	280 – 310	536 – 590
LDPE	160 – 240	320 – 464
HDPE	200 – 280	392 – 536
PP	200 – 300	392 – 536
PS	180 – 260	392 – 572
PVC	160 – 180	356 – 500

Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190 - 200 °C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130 – 135 °C. Polypropylene mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (Chemical Resistance) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (impact strength) nya rendah.

**B. POLYSTIRENE (PS)**

Polistirene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena, dimana monomer stirena-nya didapat dari hasil proses dehidrogenasi dari etil benzene (dengan bantuan katalis), sedangkan etil benzene-nya sendiri merupakan hasil reaksi antara etilena dengan benzene (dengan bantuan katalis).

Sifat-sifat umum dari poli stirena :

1. Sifat mekanis

Sifat-sifat mekanis yang menonjol dari bahan ini adalah kaku, keras, mempunyai bunyi seperti metallic bila dijatuhkan.

2. Ketahanan terhadap bahan kimia

Ketahanan PS terhadap bahan-bahan kimia umumnya tidak sebaik ketahanan yang dipunyai oleh PP atau PE. PS larut dalam eter, hidrokarbon aromatic dan chlorinated hydrocarbon. PS juga mempunyai daya serap air yang rendah, dibawah 0,25 %.

3. Abrasion resistance

PS mempunyai kekuatan permukaan relative lebih keras dibandingkan dengan jenis termoplastik yang lain. Meskipun demikian, bahan ini mudah tergores.

4. Transparansi

Sifat optis dari PS adalah mempunyai derajat transparansi yang tinggi, dapat melalui semua panjang gelombang cahaya. Disamping itu dapat memberikan kilauan yang baik yang tidak dipunyai oleh jenis plastic lain, dimana bahan ini mempunyai indeks refraksi 1,592.



5. Sifat elektrik

Karena mempunyai sifat daya serap air yang rendah maka PS digunakan untuk keperluan alat-alat listrik. PS foil digunakan untuk spacers, slot liners dan covering dari kapasitor, koil dan keperluan radar.

6. Ketahanan panas

PS mempunyai softening point rendah (90oC) sehingga PS tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi, atau misalnya pada makanan yang panas. Suhu maksimum yang boleh dikenakan dalam pemakaian adalah 75°C. Disamping itu, PS mempunyai sifat konduktivitas panas yang rendah.

PS dibuat dalam berbagai grade yang dapat digunakan untuk membuat produk jadi. Pemilihan grade sangat penting dan disesuaikan dengan produk jadinya. Grade-grade PS yang umum dipakai adalah: general purpose, light stabilized, heat resistance, Impact grade. Polistirena dapat diproses dengan cara pengolahan yang umum digunakan untuk PP atau PE, yaitu: cetak injeksi, extrusion, thermoforming.

C. ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS)

Acrylonitrile butadiene styrene (akrilonitril butadiene stirena, ABS) termasuk kelompok engineering thermoplastic yang berisi 3 monomer pembentuk. Akrlonitril bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. Butadiene memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan pukul dan sifat liat (toughness). Sedangkan stirena menjamin kekakuan (rigidity) dan mudah diproses. Beberapa grade ABS ada juga yang mempunyai karakteristik yang bervariasi, dari kilap tinggi sampai rendah dan dari yang mempunyai impact



BAB II Tinjauan Pustaka

resistance tinggi sampai rendah. Berbagai sifat lebih lanjut juga dapat diperoleh dengan penambahan aditif sehingga diperoleh grade ABS yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi, tahan terhadap sinar UV, dll. ABS mempunyai sifat-sifat :

1. tahan bahan kimia
2. liat, keras, kaku
3. tahan korosi
4. dapat didesain menjadi berbagai bentuk.
5. biaya proses rendah
6. dapat direkatkan
7. dapat dielektroplating
8. memberi kilap permukaan yang baik

ABS dapat diproses dengan tehnik cetak injeksi, ekstrusi, thermoforming, cetak tiup, roto moulding dan cetak kompresi. ABS bersifat higroskopis, oleh karena itu harus dikeringkan dulu sebelum proses pelelehan.

Penggunaannya :

1. Peralatan

Karena keunggulan sifat-sifatnya maka banyak digunakan membuat peralatan seperti :

hair dryer, korek api gas, telepon, intercom, body dan komponen mesin ketik elektronik maupun mekanik, mesin hitung, dll.

2. Otomotif

Karena sifatnya yang ringan, tidak berkarat, tahan minyak bumi, maka ABS digunakan untuk radiator grill, rumah-rumah lampu, emblem, horn grill, tempat kaca spion, dll.



3. Barang-barang tahan lama :

- ABS dengan grade tahan nyala api digunakan untuk cabinet TV, kotak penutup video,dll.
 - Grade tahan pukul pada suhu rendah dan tahan fluorocarbon dapat digunakan untuk pintu dan body kulkas.
 - Penggunaan lain : komponen AC, kotak kamera, dudukan kipas angin meja, dll.
4. Bangunan dan perumahan : dudukan kloset, bak air, frame kaca, cabinet, kran air, gantungan handuk, saringan, dll.
5. Elektroplated ABS : regulator knob, pegangan pintu kulkas, pegangan payung, spareparts kendaraan bermotor, tutup botol, dll.

D. POLYVINYL CHLORIDE (PVC)

Polyvinyl chloride (polivinil klorida) merupakan hasil polimerisasi monomer vinil klorida dengan bantuan katalis. Pemilihan katalis tergantung pada jenis proses polimerisasi yang digunakan.

Untuk mendapatkan produk-produk dari PVC digunakan beberapa proses pengolahan yaitu :

1. Calendering

Produk akhir : sheet, film, leather cloth dan floor covering.

2. Ekstrusi

Merupakan carapengolahan PVC yang banyak digunakan karena dengan proses ini dapat dihasilkan bermacam-macam produk. 'Extruder head' dapat diganti dengan bermacam bentuk untuk menghasilkan :



BAB II Tinjauan Pustaka

- pipa, tube, building profile, sheet, floor covering dan monofilament.
 - Isolasi kabel listrik dan telepon.
 - Barang berongga dan blown film.
3. Cetak injeksi
- Produk yang diperoleh adalah :
- sol sepatu, sepatu, sepatu boot
 - container, sleeve (penguat leher baju), valve.
 - Fitting, electrical and engineering parts.

E. POLYACETAL ATAU POLYOXYMETHYLENE (POM)

Polyacetal (poliasetal) merupakan salah satu engineering plastic yang penting yang banyak digunakan di bidang teletronik, bangunan dan sector alat-alat tehnik. Ada 2 tipe poliasetal yaitu homopolimer dan kopolimer. Asetal homopolimer merupakan polimer kristalin yang dibuat dari formaldehida

Resin ini secara tehnis disebut polioksi metilena (POM). Asetal homopolimer dapat dicampur daengan aditif seperti : antioksidan, lubrikan, filler, pewarna, UV stabilizer, dll. Resin ini aslinya berwarna putih buram. Sifat-sifat umum resin asetat adalah:

1. Strength

Tanpa adanya modifikasi, resin ini mempunyai kekuatan tarik, kekuatan kompresi dan ketahanan gesek yang tinggi. Resin ini halus dan deformasinya rendah jika diberi beban. Resin ini mempunyai batas lelah bengkukan (flexural fatigue) yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan baku pegas.



2. Toughness

Resin ini umumnya liat, tahan pukul meskipun pada suhu rendah, kemulurannya pada suhu kamar mencapai 12% dan pada suhu yang lebih tinggi mencapai 18%.

3. Thermal

Titik leleh homopolimer asetal lebih rendah daripada engineering thermoplastic lainnya.

4. Elektrikal

Sifat elektrikalnya dipengaruhi oleh kandungan uap air. Konstanta dielektrikalnya bervariasi dari frekwensi 102-106 Hz, dan dielectric strength-nya tinggi.

5. Chemical

Tahan terhadap bermacam-macam pelarut, eter, minyak pelumas, minyak, bensin, bahan bakar dari methanol, dll.

6. Friksi/umur pakai

Sifat pakai dan friksi baik karena permukaannya lebih keras dan koefisien gesekannya rendah.

7. Flameability

Resin asetal homopolimer ini merupakan material yang terbakar pelan-pelan dan berasap sedikit.

8. Stabiliants dimensi

Karena asetal menyerap sangat sedikit uap air, maka perubahan dimensinyapun sangat kecil.

F. POLYCARBONATE (PC)

Polycarbonate (polikarbonat) merupakan engineering plastic yang dibuat dari reaksi kondensasi bisphenol A dengan fosgen (phosgene) dalam media alkali.



BAB II Tinjauan Pustaka

Polikarbonat mempunyai sifat-sifat : jernih seperti air, impact strengthnya sangat bagus, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, suhu penggunaannya tinggi, mudah diproses, flameabilitasnya rendah. Untuk menghasilkan produk – produknya melalui proses dengan tehnik pengolahan thermoplastic pada umumnya, yaitu: cetak injeksi, ekstruksi, cetak tiup, dan structural foam moulding. Sheet polikarbonat dapat diproses dengan tehnik thermoforming menggunakan tekanan maupun vakum. PC juga dapat dikenai proses finishing meliputi pelarut dan adhesive bonding, pengecatan, printing, hot-stamping, ultrasonic welding, dll. Penggunaan PC di berbagai sector sangat luas, antara lain:

1. Sektor otomotif. PC memberi performance tinggi pada lensa lampu depan/belakang. PC ‘opaque grade’ digunakan untuk rumah lampu dan komponen elektrik. ‘Glass reinforced grade’ digunakan untuk grill.
2. Sektor makanan, PC digunakan untuk tempat minuman, mangkuk pengolah makanan, alat makan/minum, alat masak microwave, dll, khususnya yang memerlukan produk yang jernih.
3. Bidang medis : filter housing, tubing connector, peralatan operasi yang harus disterilisasai.
4. Industri elektrikal. PC digunakan untuk membuat konektor, pemutus arus, tutup baterai, ‘light concentrating panels’ untuk display kristal cair, dll
5. Alat/mesin bisnis. PC dapat digunakan untuk membuat : rumah dan komponen bagian dalam dari printer, mesin fotokopi, konektor telepon, dll.



G. POLIAMIDA (NYLON)

Nylon merupakan istilah yang digunakan terhadap poliamida yang mempunyai sifat-sifat dapat dibentuk serat, film dan plastic. Struktur nylon ditunjukkan oleh gugus amida yang berkaitan dengan unit hidrokarbon ulangan yang panjangnya berbeda-beda dalam suatu polimer.

Sifat-sifat nylon :

1. Secara umum nylon bersifat keras, berwarna cream, sedikit tembus cahaya.
2. Berat molekul nylon bervariasi dari 11.000-34.000
3. Nylon merupakan polimer semi kristalin dengan titik leleh 350-570 °F. titik leleh erat kaitannya dengan jumlah atom karbon. Jumlah atom karbon makin besar, konsentrasi amida makin kecil, titik lelehnya menurun.
4. Sedikit higroskopis : oleh karena itu perlu dikeringkan sebelum dipakai, karena sifat mekanis maupun elektriknya dipengaruhi juga oleh kelembaban relative dari atmosfer.
5. Tahan terhadap solvent organik seperti alcohol, eter, aseton, petroleum eter, benzene, CCl₄ maupun xylene.
6. Dapat bereaksi dengan phenol, formaldehida, alcohol, benzene panas dan nitrobenzene panas.
7. Nylon relative tidak dipengaruhi oleh waktu simpan yang lama pada suhu kamar. Tetapi pada suhu yang lebih tinggi akan teroksidasi menjadi berwarna kuning dan rapuh. Demikian juga sinar matahari yang kuat akan kurang baik terhadap sifat mekanikalnya.
8. Penambahan aditif dalam nylon dimaksud untuk memperbaiki sifat-sifat nylon.



BAB II Tinjauan Pustaka

Teknik pengolahan nylon yang utama adalah cetak injeksi dan ekstrusi. Teknik lain seperti cetak tiup, rotational moulding, reaction injection moulding (RIM) . Adapun penggunaannya adalah sebagai berikut :

1. Industri listrik dan elektronika.

Nylon 6, baik yang diberi pengisi maupun tidak, mempunyai sifat-sifat yang cocok untuk industri, elektronika maupun telekomunikasi, antara lain yaitu :

- tahan suhu tinggi pada pengoperasian yang kontinu.
- Bersifat isolasi
- Ketahanan pukulnya tinggi

2. Mobil

Nylon 6 dapat digunakan untuk membuat : pelampung tangki bahan bakar, blok bantalan, komponen motor, speedometer, gear, pengisi udara karburator, kerangka kaca, penutup tangki bahan bakar, reflector lampu depan, penutup stir, dop roda mobil, dll.

3. Tekstil

Di industri tekstil, nylon 6 digunakan untuk membuat : bobbin (gelondong benang), perkakas tenun, ring yang dapat dipindah-pindah, gear, dll.

4. Peralatan rumah tangga

Nylon digunakan untuk furniture, peralatan dapur, folding door, komponen mesin jahit, kancing, pegangan pisau, kerangka pencukur elektrik.

5. Mesin- mesin industri

Mesin- mesin yang dibuat dari nylon 6 antara lain : gear, bantalan (bearing), pulley, impeller pompa motor, sprocket, rol, tabung, alat pengukur pada pompa bensin.



6. Kemasan

Dapat digunakan untuk mengemas makanan seperti : ikan, daging, saus, keju, coklat, kopi, dll.

H. POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

Polyethylene terephthalate yang sering disebut PET dibuat dari glikol (EG) dan terephthalic acid (TPA) atau dimethyl ester atau asam terephthalat (DMT). Sifat-sifat PET :

PET merupakan keluarga polyester seperti halnya PC. Polymer PET dapat diberi penguat fiber glass, atau filler mineral. PET film bersifat jernih, kuat, liat, dimensinya stabil, tahan nyala api, tidak beracun, permeabilitas terhadap gas, aroma maupun air rendah.

PET engineer resin mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (strength)-nya tinggi, kaku (stiffness), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. PET dapat diproses dengan proses ekstrusi pada suhu tinggi 518-608 oF, selain itu juga dapat diproses dengan tehnik cetak injeksi maupun cetak tiup. Sebelum dicetak sebaiknya resin PET dikeringkan lebih dahulu (maksimum kandungan uap air 0,02 %) untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa selama pencetakan. Penggunaan PET sangat luas antara lain : botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak makan.



I. LOW DENSITY POLYETHYLEN (LDPE)

Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. Pada suhu di bawah 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, akan tetapi kurang baik bagi gas-gas yang lain seperti oksigen, sedangkan jenis plastik HDPE mempunyai sifat lebih kaku, lebih keras, kurang tembus cahaya dan kurang terasa berlemak.

Tabel 2.3 Karakteristik base oil dari LDPE

Feed	LDPE
C4-	2,6
C5-343 °C	45,4
343-385 °C	11
385 °C	41
Bottoms	-
Wt% of feed	61,6
Pour point, °C	-15
Cloud point, °C	-2
Viscosity, 40 °C	15,23
Viscosity 100 °C	3,829
Viscositas index	150
Overall 343 °C+, Wt%	39,7
Total 343 °C+ (including oligomerisation), Wt%	55

(Miller, 2005)

J. HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)



Pada polietilen jenis low density terdapat sedikit cabang pada rantai antara molekulnya yang menyebabkan plastik ini memiliki densitas yang rendah, sedangkan high density mempunyai jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibanding jenis low density.

Tabel 2.4 Karakteristik HDPE

Parameter	Keterangan
Nama kimia	High Density Polyethylen
Trade Name	HDPE
Sinonim	Polyethylen
Rumus Molekul	(C ₂ H ₄) _n

Tabel 2.5 Sifat Fisika dan Kimia HDPE

Parameter	Keterangan
Fisik	Padat
Melting Point	100-135°C / 212-275°F
Specific Gravity (at 20°C) (water = 1)	0,94-0,958
pH	-

Tabel 2.6

Feed	HDPE
Temperature, °C	524
Yield, Wt%	
C4-	4,9
C5- 385 °C	69,4
<385 °C	25,7

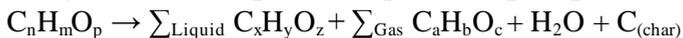


385 °C + based on plastic	51,4
---------------------------	------

2.3 Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro yang berarti panas dan lysis berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas pada suhu lebih dari 150°C (Kamaruddin, 1999).

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan volatile matters pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hydrocarbon. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar (pyrolitic oil), dan arang. Reaksi kimia pirolisis dapat dilihat pada persamaan:



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 (Trianna dan Rochimoellah, 2002).

Pirolisis merupakan salah satu pengolahan sampah yang dapat mengurangi berat dan volume sampah, serta menghasilkan produk yang lain, antara lain: (I) gas yang mengandung nilai kalori rendah hingga sedang, sehingga dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif; (II) char/residu hasil pembakaran sampah yang mengandung nilai kalori



tinggi, dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif; (III) *wax* yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dan merupakan sumber dari bahan kimia, selain itu juga proses tersebut akan menghasilkan air yang mengandung bahan-bahan organik (*Rachmawati & Herumurti, 2015*).

Menurut Munawar, faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

1). Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung. produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik. Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga (τ) yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai konstan. Nilai τ dihitung sejak proses isothermal berlangsung. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar), menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting.

2). Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik.

3). Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil, semakin besar ukuran partikel. Luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat.

4). Berat Partikel



Semakin banyak bahan yang dimasukkan, menyebabkan hasil bahan bakar cair (tar) dan arang meningkat

2.4 Katalis Zeolit

2.4.1 Pengertian Zeolit

Mineral zeolit banyak ditemukan di alam sebagai batuan sedimen vulkano. Penyusunan utama zeolit adalah mordenit dan klipnotilonit dalam berbagai variasi komposisi. Nama zeolit berasal dari dua kata dalam bahasa Yunani yaitu *zein* yang berarti mendidih dan *lithos* yang berarti batuan. Disebut demikian karena mineral ini mempunyai sifat mendidih atau mengembang apabila dipanaskan. Dimana air dalam rongga-rongga zeolit akan mendidih bila dipanaskan pada suhu 100°C (*Sutarti dan Rahmawati, 1994, Anwardan Nugraha, 1985*).

Zeolit adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$. Kedua tetrahedral di atas dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (*Breck, 1974; Chetam, 1992; Scot et al., 2003*).

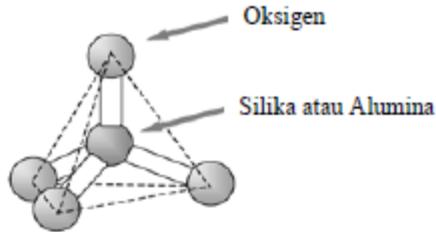
Zeolit pertama kali ditemukan oleh Freiherr Axel Cronstedt, seorang ahli mineralogi dari Swedia pada tahun 1756 (*Sheppard, 1969: 875-886*). Zeolit menurut proses pembentukannya dibagi 2, yaitu : zeolit alam (natural zeolit) dan zeolit sintesis (syntetic zeolit). Sedangkan berdasarkan



ukuran porinya, zeolit dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan, yaitu: zeolit dengan pori kecil (small pore zeolit), zeolit dengan pori medium (medium pore zeolit), dan zeolit dengan pori besar (large pore zeolit). Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ . Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300- 400 oC dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na_2EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF , HCl dan H_2SO_4 untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

2.4.2 Struktur Zeolit

Umumnya, struktur zeolit adalah suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit TO_4 , dimana T adalah ion Si^{4+} atau Al^{3+} dengan atom O berada diantara dua atom T, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur Kimia Zeolit

Struktur zeolit memiliki rumus umum $M_x/n [(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$, dimana M adalah kation alkali atau alkali tanah, n adalah jumlah valensi kation, w adalah banyaknya molekul air per satuan unit sel, x dan y adalah angka total tetrahedral per satuan unit sel, dan nisbah y/x biasanya bernilai 1 sampai 5, meskipun ditemukan juga zeolit dengan nisbah y/x antara 10 sampai 100 (*Bekkum et al., 1991*).

2.4.3 Sifat Zeolit

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekuler, katalisator, dan penukar ion.

Zeolit tidak mengalami perubahan struktur yang berarti bila dipanaskan pada suhu tinggi serta tahan terhadap oksidasi dan reduksi. Pada pemanasan $600\text{ }^\circ\text{C}$, sebagian zeolit tidak memberikan perubahan posisi ion dalam kristal, dan tidak menyebabkan perubahan struktur. Berberapa jenis zeolit tahan terhadap perlakuan kimia pada $\text{pH} < 3$ dan $\text{pH} > 12$. Ketahanan radiasi zeolit juga



sangat baik, misalnya klinoptilolit dengan tingkat radiasi 106 –1010 rad tidak mengalami perubahan struktur, sedangkan resin organik radiasi dengan dosis 106 rad saja telah menyebabkan menurunnya fungsi pertukaran ion resin.

Zeolit dengan struktur rangka tiga dimensi akan mempunyai luas permukaan yang besar sehingga memungkinkan zeolit dapat menyerap (sorpsi) molekul gas pada posisi molekul air dalam kristal zeolit. Kemampuan sorpsi ini tidak hanya ditentukan ukuran partikel, tetapi juga oleh muatan dan lokasi kation yang berada dalam rongga zeolit. Zeolit perlu diaktivasi untuk menguapkan molekul air sebelum dipakai sebagai sorben. Menurut Lufina, dkk (2013), zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain:

a). Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk melepaskan molekul-molekul air dari kisi kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar dan tidak lagi terlindungi oleh sesuatu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Proses dehidrasi mempunyai fungsi utama melepas molekul air dari kerangka zeolit sehingga mempertinggi keaktifan zeolit. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume yang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Dehidrasi molekul air dapat terjadi karena proses pemanasan zeolit sampai 350 °C sehingga memungkinkan adsorpsi reversibel



BAB II Tinjauan Pustaka

molekul-molekul yang lebih kecil dari garis tegak saluran itu.

b). Adsorpsi

Pada keadaan normal, ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu sekitar 300-400 °C air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dehidrasi menyebabkan zeolit mempunyai struktur pori yang sangat terbuka, dan mempunyai luas permukaan internal yang luas sehingga mampu mengadsorpsi sejumlah besar substansi selain air dan mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul dan kepolarannya.

c). Penukar Ion

Penukar ion di dalam zeolit adalah proses dimana ion asli yang terdapat dalam intra kristalin diganti dengan kation lain dari larutan. Zeolit mempunyai struktur angka tiga dimensi yang terdiri dari tetrahedral SiO_2 dan AlO_4 , trivalent Al^{3+} dalam posisi tetrahedralnya membutuhkan adanya penambahan muatan listrik, biasanya menggunakan Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , atau Ca^{2+} . Dalam struktur rangka zeolit, kation-kation tersebut tidak terikat pada posisi yang tepat, tapi dapat bergerak bebas dalam rangka zeolit dan bertindak sebagai “counter ion” yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain.



d). Katalisator

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang luas dan juga memiliki sisi aktif. Dengan adanya rongga intrakristalin, zeolit dapat digunakan sebagai katalis. Reaksi katalitik dipengaruhi oleh ukuran mulut rongga dan sistem alur, karena reaksi ini tergantung pada difusi pereaksi dan hasil reaksi.

e). Penyaring/Pemisah

Zeolit mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat dari suatu campuran tertentu karena mempunyai rongga yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam. Volume dan ukuran garis tengah ruang kosong dalam kristal-kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat masuk ke dalam pori, sedangkan molekul yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan.



BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1. Tahap Pelaksanaan

1. Pemilihan sampah botol plastik dan Styrofoam.
2. Menyiapkan peralatan pirolisis
3. Menentukan waktu dan suhu pirolisis
4. Menganalisa hasil bahan bakar cair.

3.2. Bahan yang Digunakan

3.2.1 Bahan yang Digunakan dalam Proses Pirolisis

1. Sampah Botol Plastik dan Styrofoam.
Bahan baku yang digunakan adalah sampah botol plastik dan Styrofoam yang sudah diperkecil ukurannya. Limbah bambu ori (*Bambusa arundinacea*) yang digunakan di dapatkan dari pengrajin bambu di Keputih – Sukolilo.
2. Es Batu
Es Batu digunakan sebagai fluida pendingin
3. Garam Krosok
Garam Krosok (NaCl) digunakan sebagai perantara kondensor.
4. Katalis Zeolit

3.3. Peralatan yang Digunakan

1. Alat pirolisis
2. Cutter
3. Gunting
4. LPG 12 kg
5. Timbangan neraca analitik



3.4. Variabel yang Digunakan

3.4.1 Variabel yang dipilih untuk proses pirolisis

1. Sampah Botol Plastik dan Styrofoam
2. Suhu proses pirolisis (200, 240, 280, 320°C)
3. Katalis Zeolit (10%, 20%, 30%, 40%)

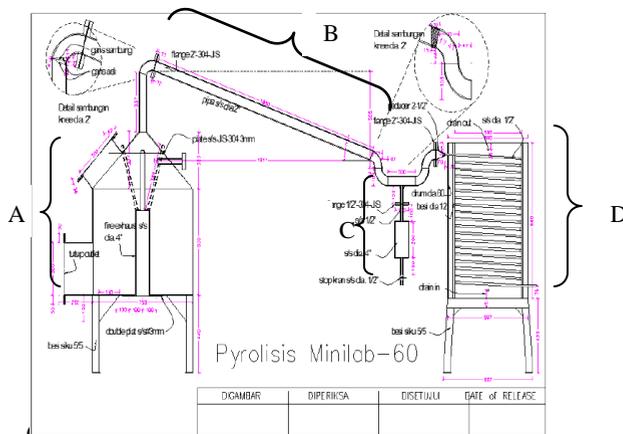
3.5 Prosedur Pembuatan Bahan Bakar Cair.

3.5.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan proses pirolisis berbahan baku sampah botol plastik dan styrofoam. Setelah dilakukan studi mengenai karakteristik asap cair dilakukan penyusunan variabel serta kondisi operasi yang tepat.

3.5.2. Perangkaian Alat

Dari hasil observasi yang telah dilakukan maka didapatkan desain seperangkat alat pirolisis



Keterangan gambar 3.1 :

A. Tangki pembakaran



BAB III Metodologi Percobaan

- B. Pipa penghubung
- C. Penampung tar
- D. Kondensor

Alat pirolisis yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Dimensi tangki pembakaran :
 - Tinggi = 40 cm
 - Diameter = 31 cm
- Bahan tangki pembakaran : *stainless steel*
- Dimensi pipa penghubung :
 - Panjang = 185 cm
 - Diameter = 7 cm
- Bahan pipa penghubung : *stainless steel*
- Dimensi kondensor :
 - Tinggi = 39 cm
 - Diameter = 38 cm
- Bahan kondensor : galvanik
- Dimensi pipa kondensor :
 - Panjang = 180 cm
 - Diameter = 7 cm

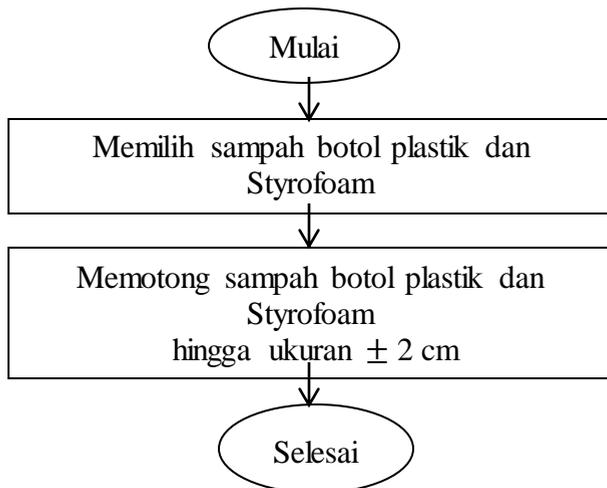
Bahan pipa kondensor : galvanik

Setelah dilakukan perancangan alat, maka dilakukan pembuatan alat kemudian instalasi alat. Instalasi alat yang telah dilakukan pada metode pirolisis dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



3.5.3. Prosedur Percobaan

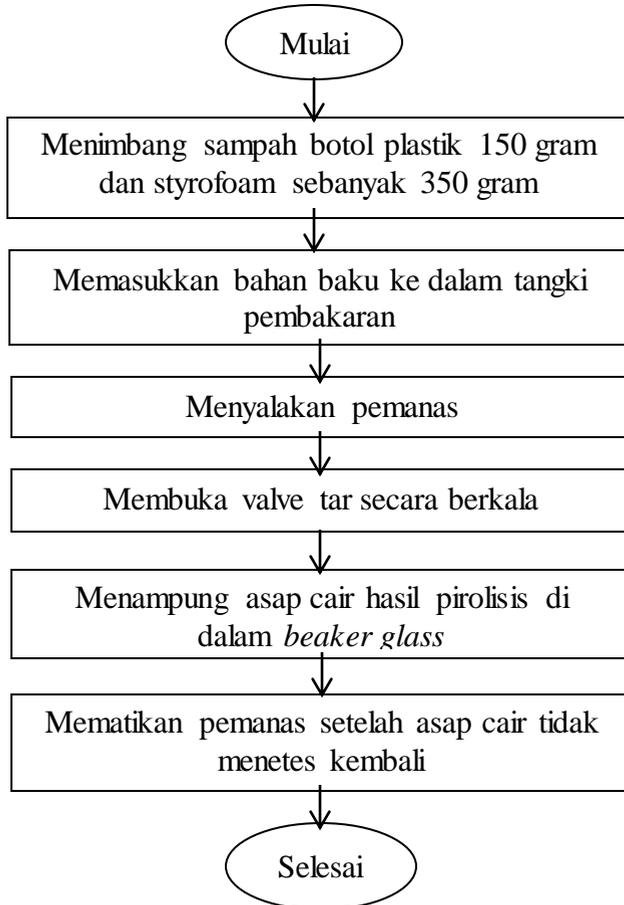
3.5.3.1. Proses *Pretreatment* Bahan Baku



Berikut adalah penjelasan dari diagram alir proses pretreatment bahan baku yang dilakukan :

1. Memilih sampah botol plastik dan Styrofoam
Tahap pemilihan ini berfungsi untuk mendapatkan sampah botol plastik dan Styrofoam yang masih layak digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar cair.
2. Memotong limbah sampah botol plastik dan Styrofoam menjadi ukuran 2 cm
Proses pemotongan disini digunakan mempermudah bahan baku masuk ke dalam tangki pembakaran, serta agar memudahkan proses pembakaran.

3.5.3.2. Proses *Pirolisis*





Berikut adalah penjelasan dari diagram alir proses pirolisis :

1. Memasukkan sampah botol plastik dan styrofoam ke dalam tangki pembakaran
Sampah botol plastik yang telah ditimbang (seberat 150 gram) dan Styrofoam yang telah ditimbang (seberat 350 gram) dimasukkan ke dalam tangki pembakaran.
2. Menyalakan pemanas
Setelah semua persiapan siap maka pemanas dinyalakan dan diatur suhunya sesuai dengan variabel suhu yang digunakan.
3. Membuka penampung tar secara berkala
Selama proses pirolisis berlangsung, bukaan tar harus di buka secara berkala, tujuannya agar tar tidak menghambat jalannya asap ke kondensor.
4. Menampung asap cair hasil pirolisis
Asap cair sebagai produk proses pirolisis di tampung di dalam beaker glass.
5. Mematikan pemanas
Setelah asap cair sudah tidak menetes maka pemanas dimatikan.

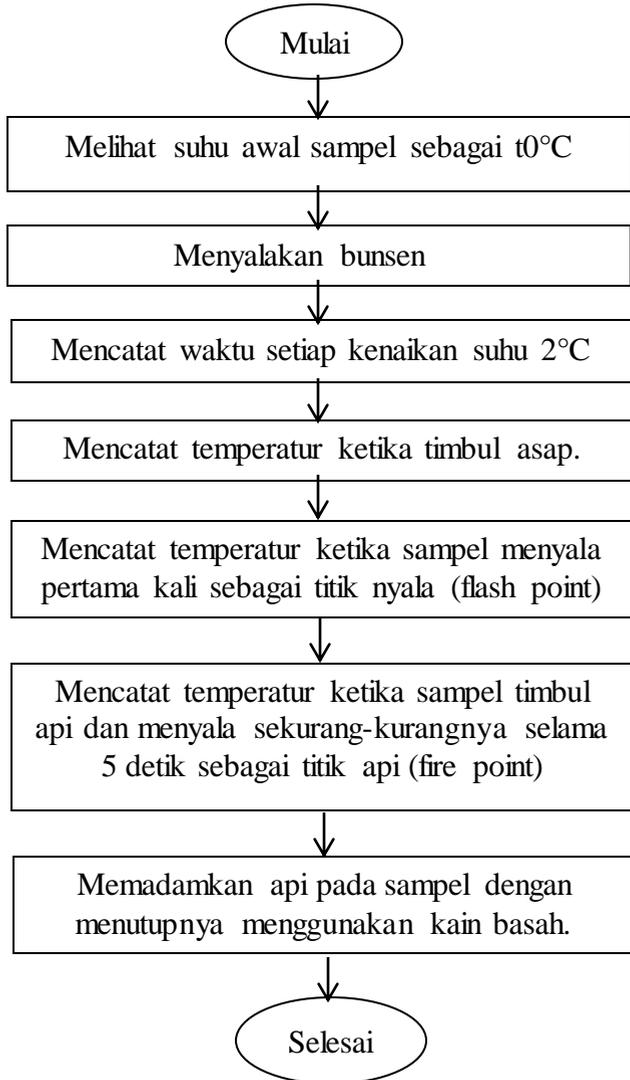


Gambar 3.2. Proses Pirolisis



3.5.4 Analisa Hasil Pirolisis

3.5.4.1 Analisa Flash Point



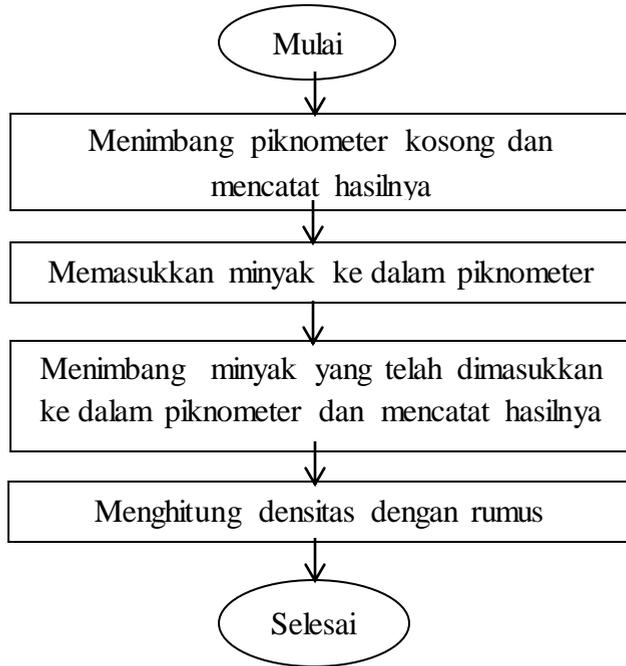


Berikut adalah penjelasan dari diagram alir analisa flash point:

1. Melihat suhu awal sampel sebagai $t_0^{\circ}\text{C}$
2. Menyalakan bunsen
3. Mencatat waktu setiap kenaikan suhu 2°C
4. Mencatat temperatur ketika timbul asap.
5. Mencatat temperatur ketika sampel menyala pertama kali sebagai titik nyala (flash point)
6. Mencatat temperatur ketika sampel timbul api dan menyalasekurang-kurangnya selama 5 detik sebagai titik api (fire point)
7. Memadamkan api pada sampel dengan menutupnya menggunakan kain basah



3.5.4.2 Analisa Densitas



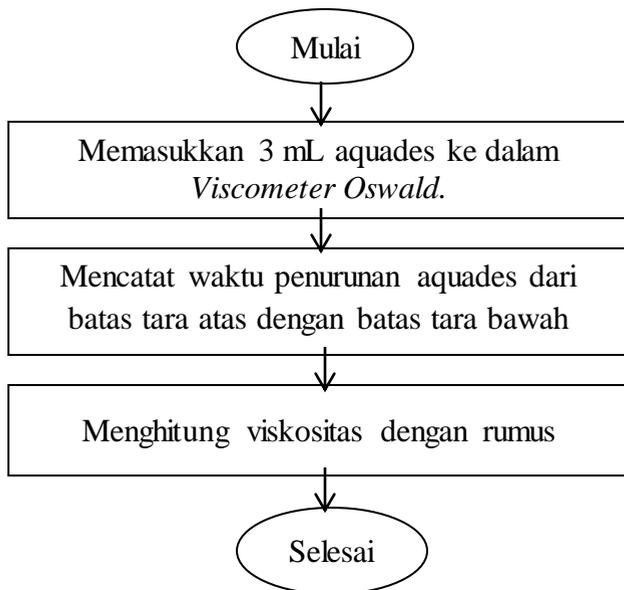
Berikut adalah penjelasan dari diagram alir analisa densitas:

1. Menimbang piknometer kosong dan mencatat hasilnya
2. Memasukkan minyak ke dalam piknometer
3. Menimbang minyak yang telah dimasukkan ke dalam piknometer dan mencatat hasilnya
4. Menghitung densitas dengan rumus :

$$\rho = \frac{\text{berat pikno isi} - \text{berat pikno kosong}}{\text{volume pikno}}$$



3.5.4.3 Analisa Viskositas



Berikut adalah penjelasan dari diagram alir analisa viskositas:

1. Memasukkan 3 mL aquades ke dalam *Viscometer Oswald*.
2. Mencatat waktu penurunan aquades dari batas tara atas dengan batas tara bawah
3. Menghitung viskositas dengan rumus :

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 \times t_1}{\rho_2 \times t_2}$$





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses Pirolisis

Pada proses Pirolisis campuran sampah plastik PS dan PET, hasil perbandingan efisiensi reaktor terhadap jumlah minyak yang dihasilkan tanpa penambahan katalis dapat ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak Yang Dihasilkan Tanpa penambahan Katalis

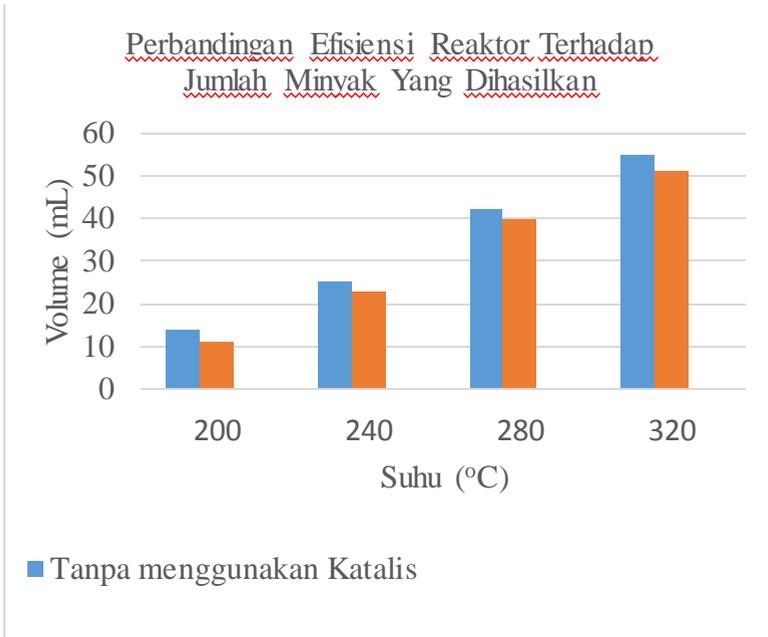
Suhu (⁰C)	Volume (mL)
200	14
240	25
280	42
320	55

Sedangkan, Pada proses Pirolisis campuran sampah plastik PS dan PET, hasil perbandingan efisiensi reaktor terhadap jumlah minyak yang dihasilkan dengan penambahan katalis dapat ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak Yang Dihasilkan. dengan penambahan Katalis

%berat Katalis	Suhu (⁰C)	Volume (mL)
10	200	11
20	240	23
30	280	40
40	320	51

Grafik hubungan suhu pirolisis terhadap volume minyak yang dihasilkan,



Grafik 4.1 Perbandingan Efisiensi Reaktor Terhadap Jumlah Minyak Yang Dihasilkan

Dari **Grafik 4.1** diketahui terjadi kenaikan jumlah minyak yang dihasilkan yang terjadi pada masing-masing suhu operasi. Pada percobaan tanpa penambahan katalis suhu 200°C menghasilkan minyak sebanyak 14 mL; pada suhu 240°C sebanyak 25 mL; pada suhu 280°C sebanyak 42 mL; dan pada suhu 320°C sebanyak 55 mL. Sedangkan, pada percobaan dengan penambahan katalis suhu 200°C menghasilkan minyak sebanyak 11 mL; pada suhu 240°C sebanyak 23 mL; pada suhu 280°C sebanyak 40 mL; dan pada suhu 320°C sebanyak 51 mL. Semakin tinggi suhu pemanasan hasil minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Sumarni, 2008.



Menunjukkan semakin tinggi suhu proses, maka massa yang ada didalam reaktor akan semakin turun. Dengan bertambah tingginya suhu pemanasan zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (minyak). Dengan demikian bahwa semakin lama waktu proses massa plastik yang ada semakin turun. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon diurai menjadi rantai pendek. Peruraian senyawa-senyawa didalam plastik menyebabkan terjadinya penurunan massa plastik yang ada di dalam reaktor. Hal ini sesuai dengan Wanchai dan Chaisuwan (2013) menjelaskan semakin tinggi suhu, maka nilai konversi yang dihasilkan juga semakin banyak. Tetapi pada suhu yang lebih tinggi lagi maka gas akan lebih banyak dari pada cairan.

Namun, terdapat perbedaan dalam hasil volume tanpa menggunakan katalis dengan yang menggunakan katalis. Hal ini disebabkan oleh beberapa catatan penting yaitu pirolisis dengan bahan PET didominasi hasil gas karena dasar kimia PET yang mudah menyublim, artinya senyawa yang ada di dalam PET akan membentuk gas CO_2 , CO , dan CH_4 . Dan penggunaan katalis Zeolit pada praktikum menunjukkan bahwa hasil gas lebih banyak serta impuritis dan residu yang dihasilkan lebih sedikit karena terjadinya adsorpsi. Tetapi, mempunyai perbedaan dalam kualitas dan kuantitas (Dermibas, 2004). Hal ini tidak sesuai literatur yang menyatakan bahwa menggunakan katalis mampu menurunkan suhu dan waktu reaksi serta menghasilkan produk cair dengan persentase produk yang lebih besar jika dibandingkan dengan pirolisis tanpa menggunakan katalis. Hal ini karena secara umum zeolit mampu menyerap, menukar ion dan menjadi katalis, zeolit sintesis mempunyai pori-pori lebih sedikit, tetapi memiliki



kandungan Si dan Al lebih banyak, dan aktivitas katalitik yang baik. Pada proses pirolisis plastik dengan katalis secara signifikan akan mengurangi suhu pirolisis dan mempercepat reaksi dari pemecahan rantai polimer dibandingkan tanpa menggunakan katalis (Syamsiro, 2015).

Dari hasil pengujian diperoleh beberapa catatan penting sehubungan dengan desain peralatan yaitu kurang tingginya laju panas pembakaran sehingga panas yang dihasilkan di dalam reaktor belum mencapai 400 °C, tabung Reaktor kurang besar volumenya, sehingga kapasitas yang dapat ditampung hanya 0,5 kg bahan baku plastik, bentuk tutup reaktor tidak baik, sehingga mempermudah laju aliran gas keluar dari reaktor menuju kondensor, dapat juga disebabkan temperatur yang kurang tinggi dari sumber api LPG.

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, penelitian ini dapat menyimpulkan bahwa: Plastik yang dipanaskan telah melumer dan mencair pada temperatur kurang lebih 200°C, selanjutnya mulai menguap menjadi fase gas dan menghasilkan cairan. Namun hasil yang diperoleh belum maksimal. Supaya hasil maksimal selanjutnya temperatur harus ditinggikan sampai mencapai 400 °C agar rantai hidrokarbon dapat terurai. Disain peralatan juga perlu disempurnakan. Diperlukan penelitian lebih lanjut terutama mengubah desain reaktor yang lebih detail dengan sumber panas kompor yang lebih besar minimum mencapai temperatur 450 °C, dan coba mengesampingkan nilai efisiensi alat agar diperoleh jenis minyak yang lain.



4.2 Analisa Bahan Bakar Cair

Dari hasil pirolisis plastik PET (Polyethylene Thereptale) dan PS (Polystyrena) menggunakan katalis zeolit selanjutnya dilakukan analisa antara lain penentuan densitas, viskositas, titik nyala. Perbandingan antara hasil karakterisasi minyak pirolisis dari plastik PET (Polyethylene Thereptale) dan PS (Polystyrena) dengan variasi persen katalis yang digunakan terhadap berat plastik yang dihasilkan, dapat disesuaikan dengan standar mutu bahan bakar solar (SNI 7390:2008) dapat dilihat pada Tabel IV.3

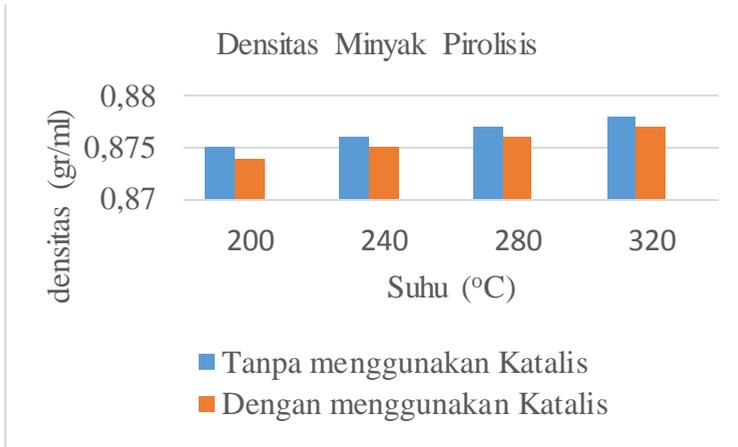
Tabel 4.3 Perbandingan karakterisasi minyak pirolisis dengan solar (SNI 7390:2008)

Karakteristik	SNI 7390:2008	
	Min	Maks
Densitas (gr/ml)	0,81	0,87
Viskositas (cP)	2	5,0
Titik Nyala (°C)	60	-
Nilai Kalor (MJ/kg)	-	44,8



4.2.1 Analisa Densitas Bahan Bakar Cair Terhadap Hasil Minyak Pirolisis

Berikut merupakan hasil uji analisa densitas minyak pirolisis campuran sampah Botol Plastik dan Styrofoam sebagai berikut:



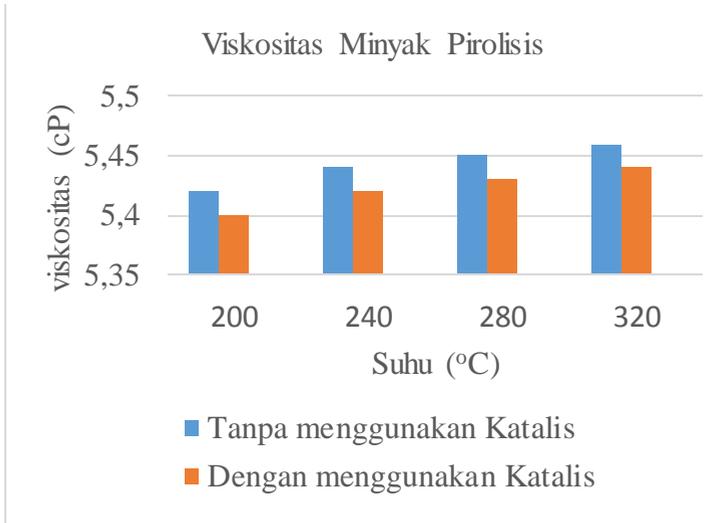
Grafik 4.2 Analisa Densitas Minyak Pirolisis

Pada Grafik 4.2 menunjukkan bahwa pada hasil uji analisa densitas hasil minyak pirolisis tanpa penambahan katalis pada suhu 200°C adalah 0,875 gr/ml; pada suhu 240°C adalah 0,876 gr/ml; pada suhu 280°C adalah 0,877 gr/ml; dan pada suhu 300°C adalah 0,878 gr/ml. Dan pada hasil densitas minyak pirolisis dengan penambahan katalis yaitu pada suhu 200°C adalah 0,874 gr/ml; pada suhu 240°C adalah 0,875 gr/ml; pada suhu 280°C adalah 0,876 gr/ml; pada suhu 300°C adalah 0,877 gr/ml. Hal ini menjelaskan bahwa densitas minyak hasil pirolisis mendekati densitas solar yaitu 0,87 gr/ml sesuai SNI 7390:2008.



4.2.2 Analisa Viskositas Bahan Bakar Cair Terhadap Hasil Minyak Pirolisis

Berikut merupakan hasil uji analisa viskositas minyak pirolisis campuran sampah Botol Plastik dan Styrofoam sebagai berikut:



Grafik 4.3 Analisa Viskositas Minyak Pirolisis

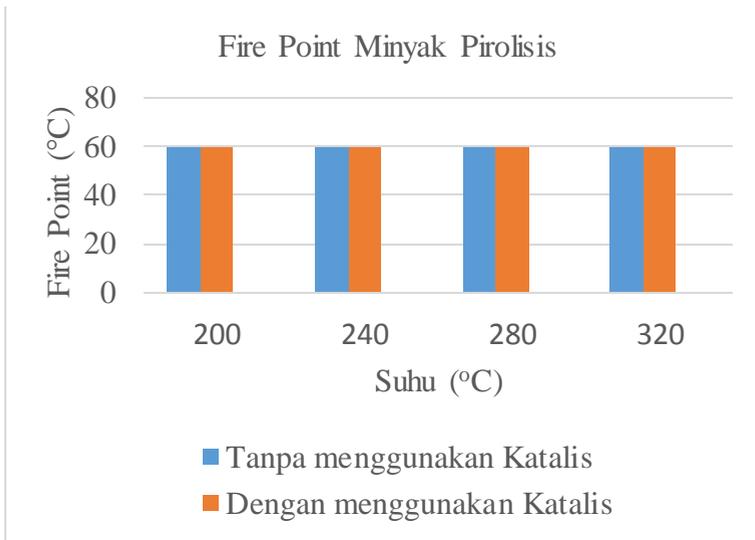
Pada Grafik 4.3 menunjukkan bahwa pada hasil uji analisa viskositas hasil minyak pirolisis tanpa penambahan katalis pada suhu 200°C adalah 5,42 cP; pada suhu 240°C adalah 5,44 cP; pada suhu 280°C adalah 5,45 cP; dan pada suhu 300°C adalah 5,46 cP. Dan pada hasil densitas minyak pirolisis dengan penambahan katalis yaitu pada suhu 200°C adalah 5,4 cP; pada suhu 240°C adalah 5,42 cP; pada suhu 280°C adalah 5,43 cP; pada suhu 300°C adalah 5,44 cP. Hal ini menjelaskan bahwa viskositas minyak hasil



pirolisis melebihi viskositas solar yaitu maksimal 5 cP sesuai SNI 7390:2008.

4.2.4 Analisa Fire Point Bahan Bakar Cair Terhadap Hasil Minyak Pirolisis

Berikut merupakan hasil uji analisa Fire Point minyak pirolisis campuran sampah Botol Plastik dan Styrofoam sebagai berikut:



Grafik 4.4 Analisa Fire Point Minyak Pirolisis

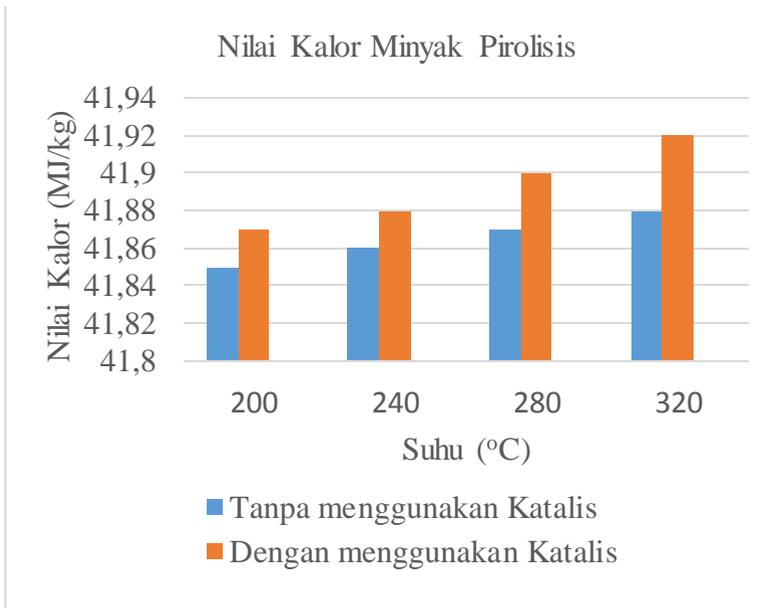
Pada Grafik 4.4 menunjukkan bahwa pada hasil uji analisa Fire Point hasil minyak pirolisis tanpa penambahan katalis pada suhu 200°C adalah 60°C; pada suhu 240°C adalah 60°C; pada suhu 280°C adalah 60°C; dan pada suhu 300°C adalah 60°C. Dan pada hasil densitas minyak pirolisis dengan penambahan katalis yaitu pada suhu 200°C adalah 60°C; pada suhu 240°C adalah 60°C; pada suhu 280°C adalah 60°C; pada suhu 300°C adalah 60°C. Hal ini



menjelaskan bahwa viskositas minyak hasil pirolisis sesuai Fire Point solar yaitu maksimal 60°C sesuai SNI 7390:2008.

4.2.5 Analisa Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Terhadap Hasil Minyak Pirolisis

Berikut merupakan hasil uji analisa Nilai Kalor minyak pirolisis campuran sampah Botol Plastik dan Styrofoam sebagai berikut:



Grafik 4.5 Analisa Nilai Kalor Minyak Pirolisis

Pada Grafik 4.5 menunjukkan bahwa pada hasil uji analisa Nilai Kalor hasil minyak pirolisis tanpa penambahan katalis pada suhu 200°C adalah 41,85 MJ/kg; pada suhu 240°C adalah 41,86 MJ/kg; pada suhu 280°C adalah 41,87 MJ/kg; dan pada suhu 300°C adalah 41,88 MJ/kg. Dan pada hasil densitas minyak pirolisis



BAB IV Hasil Percobaan dan Pembahasan

dengan penambahan katalis yaitu pada suhu 200°C adalah 41,87 MJ/kg; pada suhu 240°C adalah 41,88 MJ/kg; pada suhu 280°C adalah 41,90 MJ/kg; pada suhu 300°C adalah 41,92 MJ/kg. Hal ini menjelaskan bahwa viskositas minyak hasil pirolisis sesuai Nilai Kalor solar yaitu maksimal 44,8 MJ/kg sesuai SNI 7390:2008.



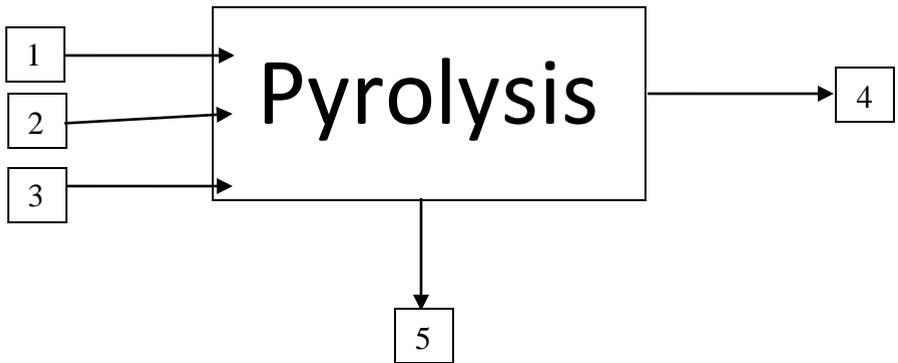


BAB V NERACA MASSA

5.1 Neraca Massa

5.1.1 Neraca Massa Pirolisis

Fungsi : Mendekomposisi termokimia bahan organik



- Aliran 1 : Sterofoam 350 kg
- Aliran 2 : PET 150 kg
- Aliran 3 : Zeolite 200 kg
- Aliran 4 : Asap cair
- Aliran 5 : Arang

Tabel 5.1 Neraca Massa Aliran Masuk

Aliran 1		
Komponen	Persentase (%)	Massa (kg)
Polystirena	90	315
n-butana	10	35
Jumlah	100	350

Aliran 2		
Komponen	Persentase (%)	Massa (kg)
PET	100	150
Jumlah	100	150



Aliran 3		
Komponen	Persentase (%)	Massa (kg)
Alumina	62.75	125.5
Silica	12.71	25,42
Hidrogen	24.54	49.08
Jumlah	100	

Table 5.2 Neraca Massa Over All

Neraca Massa Pyrolysis			
Aliran masuk		Aliran keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<aliran 1>		<aliran 4>	
Polystrena C ₈ H ₈	315	benzen	47.39583
n-butane	35	nephtalen	112.5
<aliran 2>		H ₂ O	18.75
PET	150	n-butane	35
<aliran 3>		CO	36.45833
Zeolite	200	<aliran 5>	
		C	9.375
		zeolit	200
		polystiren	240.5208
Total	700	Total	700



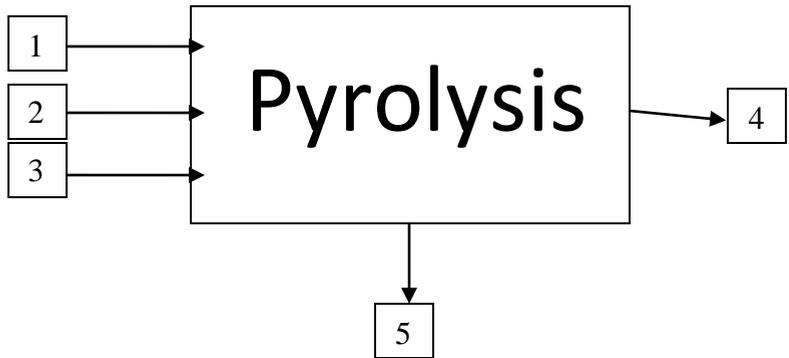
Neraca Massa Pyrolysis			
Aliran masuk		Aliran keluar	
Komponen	Massa	Komponen	Massa
<aliran 1>		<aliran 4>	
Polystirena C_8H_8	315	benzen	47.39583
n-butane	35	nephtalen	112.5
<aliran 2>		H ₂ O	18.75
PET	150	n-butane	35
<aliran 3>		CO	36.45833
Zeolite	200	<aliran 5>	
		C	9.375
		zeolit	200
		polystiren	240.5208
Total	700	Total	700

Table 5.2
Neraca Massa Over All

BAB VI NERACA PANAS

6.1 Neraca Panas

6.1.1 Neraca Panas Pirolisis



- Aliran 1 : Sterofoam 350 kg
- Aliran 2 : PET 150 kg
- Aliran 3 : Zeolite 200 kg
- Aliran 4 : Asap cair
- Aliran 5 : Arang

Tabel 6.1 heat capacity komponen

Aliran 1		
Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg°C)
Polystirene	315	0.3153846
n-butane	35	0.5196146

Aliran 2		
Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg°C)
PET	150	0.4349398



Aliran 3		
Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg°C)
Alumina	125.5	0.2393095
Silica	25.42	0.1964048
Hidrogen	49.08	4.6

Tabel 6.2 heat fusion komponen

Aliran 1			
Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ (kcal/mol)	BM (g/mol)	Hf (kcal/kg)
Polystyrene	2.620461784	104	272528.0255
n-butane	1.11376796	58	64598.54168

Aliran 2			
Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ (kcal/mol)	BM (g/mol)	Hf (kcal/kg)
PET	6.4292614	192	1234418.189

Aliran 3			
Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ (kcal/mol)	BM (g/mol)	Hf (kcal/kg)
Alumina	2.52390336	102	257438.1427
Silica	-217.7010052	60.08	-13079476.39
Hidrogen	-241.48	2	-482960

Tabel 6.3 panas komponen masuk

Aliran 1			
Komponen	Massa	Cp (kkal/kg°C)	H

Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi

Pemanfaatan Limbah Plastik
Menjadi Bahan Bakar Menggunakan
Metode Pirolisis dan Penambahan
Katalis Zeolit



polystirene	315	0.315384615	99.34615
n-butanae	35	0.519614591	18.18651
Jumlah			117.5327

Aliran 2			
Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg°C)	H
PET	150	0.434939759	65.24096
Jumlah			65.24096

Aliran 3			
Komponen	Massa (kg)	Cp (kkal/kg°C)	H
alumina	125.5	0.239309533	30.03335
Silica	25.42	0.196404794	4.99261
hidrogen	49.08	4.6	225.768
Jumlah			260.794

Tabel 6.4 panas komponen keluar

Aliran 4			
Komponen	F(kmol)	ΔH°_f (kcal/mol)	H_{produk} (kcal)
Benzene	0.260416667	11.711294	3.049816146
Neptaline	0.78125	4.495941866	3.512454583
H ₂ O	1.041666667	-57.719949	-60.12494688
N-butane	0.603448276	1.11376796	0.672101355
CO	1.302083333	-26.29066	-34.23263021
Jumlah			-87.1232



Aliran 6			
Komponen	F(kmol)	ΔH°_f (kcal/mol)	H produk (kcal)
C	0.78125	0.50908278	0.397720922
Zeolit	0.989437752	2.52390336	2.497245267
Polystirene	2.312700321	2.620461784	6.060342808
Jumlah			8.955309

Tabel 6.5 heat fusion reaktan

Komponen	F(kmol)	ΔH°_f (kcal/mol)	H_{reakan} (kcal)
polystirene	2.312700321	2.620461784	6.060342808
PET	0.78125	6.4292614	5.022860469
Total			11.08320328

Tabel 6,6 heat balance

Qin (kcal)		Qout (kcal)	
Hmasuk	443.5676	Hkeluar	9472.10848
Qsupply	9028.541		
Total	9472.108	Total	9472.108

BAB VII

ESTIMASI BIAYA

7.1 Estimasi Biaya

Produksi bahan bakar cair hasil pirolisis di-scale up pada skala industri dengan kapasitas produksi sebesar 50 liter/hari.

Dengan rincian sebagai berikut :

- Setiap sekali produksi membutuhkan 50 kg campuran sampah plastik.
- Untuk menghasilkan asap cair 50 liter/hari dibutuhkan bahan baku sampah plastik Styrofoam 35 kg dan sampah botol plastik 15 kg.

7.1.1 Peralatan (*Equipment*)

Peralatan merupakan salah satu penunjang di dalam proses industri. Berikut merupakan beberapa kebutuhan peralatan yang dibutuhkan dalam proses produksi :

Tabel 7.1 Biaya Investasi Peralatan Per Bulan

No	Peralatan	Unit	Harga per unit	Lifetime (bulan)	Biaya per bulan
1	Pirolisis	1	Rp 8.000.000	12	Rp 666.667
2	Gas LPG	1	Rp 132.500	12	Rp 11.042
3	Kompor	1	Rp 52.500	12	Rp 4.375
4	Valve	1	Rp 65.000	12	Rp 5.417
5.	Termometer	1	Rp 2.000.000	12	Rp 166.667
6.	Mur	40	Rp 1.000	12	Rp 3.333
Total					Rp 857.500



7.1.2 Biaya Kebutuhan Bahan Baku

Bahan baku merupakan komponen penting dalam berjalannya suatu proses di industri. Oleh karena itu, perhitungan mengenai biaya bahan baku dilakukan untuk memperoleh analisa ekonomi yang baik. Berikut merupakan beberapa kebutuhan bahan baku yang dibutuhkan dalam proses produksi :

Tabel 7.2 Biaya Kebutuhan Bahan Baku Produksi Per Produk

No	Keterangan	Unit	Harga per Unit (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Garam Krosok	10 kg	Rp 400,00	Rp 4000,00
2	Es Balok	20 kg	Rp 1.000.00	Rp 20.000,00
3	Styrofoam	35 kg	Rp 2,000.00	Rp 70.000,00
4	Botol Plastik	15 kg	Rp 3,000.00	Rp 45.000,00
Total				Rp 139.000.00

7.1.3 Utilitas

Utilitas yang dibutuhkan dalam proses industri ini yaitu:

- Air yang digunakan untuk sanitasi
- Listrik yang digunakan pada peralatan proses serta penerangan.



Tabel 7.3 Biaya Utilitas Per Bulan

No	Keterangan	Kuantitas	Harga per Bulan (Rp)	Total Biaya (Rp)
1.	Air	100 m ³	Rp 6,000.00	Rp 600,000.00
2.	Listrik	100 kWh	Rp 1,500.00	Rp 150,000.00
Total				Rp 750.000.00

7.1.4 Biaya Pendukung Lainnya

Pada proses produksi ini terdapat beberapa biaya pendukung lainnya yang terdiri dari gaji karyawan, sewa bangunan, dan *maintenance* peralatan.

Tabel VI.4 Biaya Pendukung Lainnya Per Bulan

No	Keterangan	Kuantitas	Harga per Bulan (Rp)	Total Biaya (Rp)
1.	Gaji karyawan	2 orang	Rp 1.500.000	Rp 3.000.000,00
2.	Sewa bangunan	-	Rp 5,000,000.00	Rp 5.000.000,00
3.	Maintenance peralatan	-	Rp 200.000.00	Rp 200.000,00
Total				Rp 8.150.000,00

7.2 Fixed Cost (FC)

Fixed cost atau biaya tetap adalah total biaya yang tidak akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan volume produksi. Biaya tetap secara total akan selalu konstan sampai tingkat kapasitas penuh. Biaya tetap merupakan biaya yang akan selalu terjadi walaupun perusahaan tidak berproduksi.



BAB VII Estimasi Biaya

Biaya tetap meliputi PBB, penyusutan alat, sewa tanah atau bangunan, utilitas, gaji karyawan, dan *maintenance* peralatan.

1.	Investasi Alat	Rp 857.500,00
2.	Utilitas	Rp 750.000,00
3.	Biaya Pendukung	Rp 8.200.000,00
		Rp 9.807.500,00

7.3 Variable Cost (VC)

Variable cost atau biaya variabel total biaya yang berubah-ubah tergantung dengan perubahan volume penjualan/produksi. Biaya variabel akan berubah secara proposional dengan perubahan volume produksi. Biaya variabel meliputi kebutuhan bahan baku.

1. Biaya Variabel per liter = Rp 2.780,00
2. Biaya Variabel selama 1 Bulan = Rp 2.780,00 x 1300
= Rp 3.614.000

Dari hasil *fixed cost* dan *variable cost* maka dapat diketahui biaya total produksi (TC) dalam waktu satu bulan, yaitu :

$$TC = FC + VC$$

$$TC = \text{Rp } 9.807.500 + \text{Rp } 3.614.000$$

$$TC = \text{Rp } 13.421.500$$

7.4 Harga Pokok Penjualan (HPP)

Harga pokok penjualan adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang dijual atau harga perolehan dari barang yang dijual.



1. HPP

$$\text{HPP} = \frac{\text{TC}}{\text{Jumlah Produk Per Bulan}}$$

$$\text{HPP} = \frac{13.421.500}{1300}$$

$$\text{HPP} = \text{Rp } 10.324,00$$

2. Laba = HPP x %Laba

$$= \text{Rp. } 10.324,00 \times 0,3$$

$$= \text{Rp } 3.097,00$$

3. Harga Jual = HPP + Laba

$$= \text{Rp. } 10.324,00 + \text{Rp. } 3.097,00$$

$$= \text{Rp. } 13.421 \text{ per liter}$$

$$= \text{Rp. } 13.421 \times 50 \text{ liter}$$

$$= \text{Rp. } 671.075,00$$

4. Hasil Penjualan per Bulan

$$\text{Hasil Penjualan/Bulan} = \text{Harga Jual} \times \text{Jumlah Produk/Bulan}$$

$$\text{Hasil Penjualan/Bulan} = \text{Rp } 13.421 \times 1.300$$

$$\text{Hasil Penjualan/Bulan} = \text{Rp } 17.447.300$$

5. Laba per Bulan

$$\text{Laba/Bulan}$$

$$= \text{Hasil Penjualan per Bulan} - \text{Biaya Produksi Total (TC)}$$

$$= \text{Rp. } 17.447.300 - \text{Rp. } 13.421.500$$

$$= \text{Rp } 4.025.800$$

6. Laba per Tahun

$$\text{Laba/Tahun} = \text{Laba/Bulan} \times 12$$

$$\text{Laba/Tahun} = \text{Rp } 4.025.800 \times 12$$

$$\text{Laba/Tahun} = \text{Rp } 48.309.600$$



7.5 Break Event Point (BEP)

Break event point (BEP) adalah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan. BEP ini digunakan untuk menganalisa proyeksi sejauh mana banyaknya jumlah unit yang diproduksi atau sebanyak apa yang yang harus diterima untuk mendapatkan titik impas atau kembali modal.

Dalam menentukan BEP dapat melalui metode perhitungan secara langsung dan secara grafis.

a) Metode Perhitungan (Aljabar)

- Menentukan BEP dalam jumlah unit produk

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Fixed Cost}}{P - VC} \\ \text{BEP} &= \frac{\text{Rp } 9.807.500}{\text{Rp } 13.421 - \text{Rp } 2.780} \\ \text{BEP} &= 921.627 \end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu menjual 921.627 liter bahan bakar untuk tercapainya titik impas antara total penjualan sama dengan total biaya produksi. Pada penjualan ke- 927.627 liter, maka perusahaan tersebut akan mulai memperoleh laba.

- Menentukan BEP dalam jumlah unit rupiah

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Fixed Cost}}{1 - (VC/P)} \\ \text{BEP} &= \frac{9.807.500}{1 - (2.780/13.421)} \\ \text{BEP} &= \text{Rp } 12.369.624 \end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu mendapatkan omset penjualan produk bahan bakar cair padi senilai Rp 12.369.624 agar



terjadi BEP dan perusahaan akan memperoleh keuntungan jika mendapatkan omset sebesar Rp 12.369.624.

b) Metode Grafik

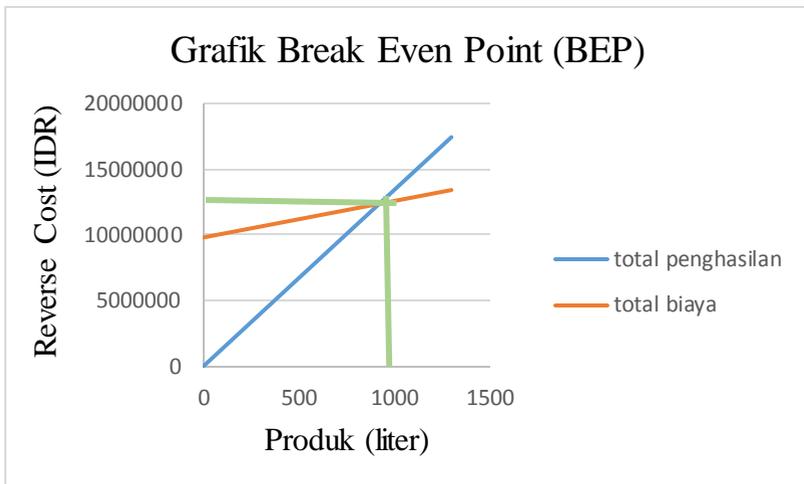
Pada penentuan BEP dengan metode grafik dapat diketahui dari perpotongan antara garis total cost dan total penghasilan selang waktu tertentu.

Bahan Bakar yang dijual (liter)	Total Penghasilan (Rp)	Fixed Cost (Rp)	Variable Cost (Rp)	Total Biaya (Rp)
0	Rp -	Rp 9,807,500	Rp -	Rp 9,807,500
50	Rp 671,075	Rp 9,807,500	Rp 139,000	Rp 9,946,500
100	Rp 1,342,150	Rp 9,807,500	Rp 278,000	Rp 10,085,500
150	Rp 2,013,225	Rp 9,807,500	Rp 417,000	Rp 10,224,500
200	Rp 2,684,300	Rp 9,807,500	Rp 556,000	Rp 10,363,500
250	Rp 3,355,375	Rp 9,807,500	Rp 695,000	Rp 10,502,500
300	Rp 4,026,450	Rp 9,807,500	Rp 834,000	Rp 10,641,500
350	Rp 4,697,525	Rp 9,807,500	Rp 973,000	Rp 10,780,500
400	Rp 5,368,600	Rp 9,807,500	Rp 1,112,000	Rp 10,919,500
450	Rp 6,039,675	Rp 9,807,500	Rp 1,251,000	Rp 11,197,500
500	Rp 6,710,750	Rp 9,807,500	Rp 1,390,000	Rp 11,336,500
550	Rp 7,381,825	Rp 9,807,500	Rp 1,529,000	Rp 11,475,500
600	Rp 8,052,900	Rp 9,807,500	Rp 1,668,000	Rp 11,614,500
650	Rp 8,723,975	Rp 9,807,500	Rp 1,807,000	Rp 11,753,500
700	Rp 9,395,050	Rp 9,807,500	Rp 1,946,000	Rp 11,892,500
750	Rp 10,066,125	Rp 9,807,500	Rp 2,085,000	Rp 12,031,500
800	Rp 10,737,200	Rp 9,807,500	Rp 2,224,000	Rp 12,170,500
850	Rp 11,408,275	Rp 9,807,500	Rp 2,363,000	Rp 12,309,500



BAB VII Estimasi Biaya

900	Rp 12,079,350	Rp 9,807,500	Rp 2,502,000	Rp 12,448,500
950	Rp 12,750,425	Rp 9,807,500	Rp 2,641,000	Rp 12,587,500
1000	Rp 13,421,500	Rp 9,807,500	Rp 2,780,000	Rp 12,726,500
1050	Rp 14,092,575	Rp 9,807,500	Rp 2,919,000	Rp 12,865,500
1100	Rp 14,763,650	Rp 9,807,500	Rp 3,058,000	Rp 13,004,500
1150	Rp 15,347,725	Rp 9,807,500	Rp 3,197,000	Rp 13,031,500
1200	Rp 16,105,800	Rp 9,807,500	Rp 3,336,000	Rp 13,143,500
1250	Rp 16,776,875	Rp 9,807,500	Rp 3,475,000	Rp 13,282,500
1300	Rp 17,447,950	Rp 9,807,500	Rp 3,614,000	Rp 13,421,500



Dari grafik tersebut diketahui bahwa BEP berada pada titik produksi unit ke- 921.627 liter dengan BEP rupiah yang didapatkan sebesar Rp 12.369.624.



BAB VIII

KESIMPULAN

8.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Dengan Menggunakan Metode Pirolisis Dan Penambahan Katalis Zeolit adalah:

1. Semakin tinggi suhu pemanasan hasil minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan, menunjukkan semakin tinggi suhu proses, maka massa yang ada didalam reaktor akan semakin turun. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (minyak). Volume terbanyak tanpa penambahan katalis terdapat pada suhu 320°C yaitu sebanyak 55 mL dan volume terkecil terdapat pada suhu 200 °C yaitu sebanyak 14 mL. Volume terbanyak dengan penambahan katalis terdapat pada suhu 320 °C yaitu sebanyak 51 mL dan volume terkecil terdapat pada suhu 200 °C yaitu sebanyak 11 mL.
2. Berdasarkan hasil uji analisa densitas, viskositas dan titik nyala, dan nilai kalor bahan bakar cair yang dihasilkan yaitu nilai densitas 0,873 gr/ml, nilai viskositas 5,8 cP, dan titik nyala pada 60°C. Hal ini berarti bahan bakar cair yang dihasilkan sudah memenuhi standar solar. Sedangkan nilai viskositas sedikit melebihi nilai viskositas bahan bakar yang sesuai dengan SNI 7390:2008.
3. Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini dapat menyimpulkan bahwa: Plastik yang dipanaskan telah melumer dan mencair pada temperatur kurang lebih 200°C, selanjutnya mulai menguap menjadi fase gas dan



BAB VIII Kesimpulan

menghasilkan cairan. Namun hasil yang diperoleh belum maksimal. Supaya hasil maksimal selanjutnya temperatur harus ditinggikan sampai mencapai 400 °C agar rantai hidrokarbon dapat terurai. Diperlukan penelitian lebih lanjut terutama mengubah desain reaktor yang lebih detail dengan sumber panas kompor yang lebih besar minimum mencapai temperatur 450 °C, dan coba mengesampingkan nilai efisiensi alat agar diperoleh jenis minyak yang lain.

8.2 Saran

Dari hasil pengujian diperoleh beberapa catatan penting sehubungan dengan desain peralatan yaitu kurang tingginya laju panas pembakaran sehingga panas yang dihasilkan di dalam reaktor belum mencapai 400 °C, tabung Reaktor kurang besar volumenya, sehingga kapasitas yang dapat ditampung hanya 0,5 kg bahan baku plastik, bentuk tutup reaktor tidak baik, sehingga mempermudah laju aliran gas keluar dari reaktor menuju kondensor, dapat juga disebabkan temperatur yang kurang tinggi dari sumber api LPG.



BAB VIII Kesimpulan

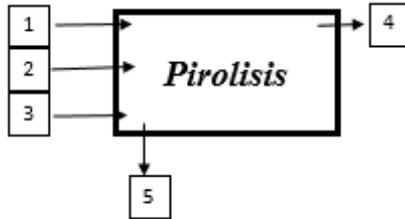
DAFTAR NOTASI

No.	Keterangan	Notasi	Satuan
1.	Massa	m	gr
2.	Volume	V	ml
3.	Waktu	t	jam
4.	Densitas	ρ	gr/ml
5.	Specific Heat	Cp	cal/gr. $^{\circ}$ c
6.	Panas laten	λ	cal/gr
7.	Suhu	T	$^{\circ}$ c
8.	Daya	P	watt
9.	Konsentrasi	C	%(w/w)
10.	Enthalpi	ΔH	cal
11.	Kalor	Q	kalori
12.	Berat molekul	BM	gr/mol

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Munawar., P, Aprian Ramadhan. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Arita, Susila., Assalami, Abrar., Naibaho, Dina Irawaty. (2015). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit. Jurnal Teknik Kimia No. 2, Vol. 21 Universitas Sriwijaya.
- Lufina, Ismi., Bambang, Susilo., & Rini, Yulianingsih. (2013). Studi Pemanfaatan Minyak Karet (*Havea brasiliensis*) sebagai Bahan Bakar pada Kompor Rumah Tangga. Jurnal Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif.
- Rachmawati, Q., Herumurti, W. (2015). Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. Jurnal Teknik ITS Vol.4 No. 1
- Salamah, Siti., Maryudi. (2016). Pirolisis Sampah Sterofoam Dengan Katalis Ni/Silika. Simposium Nasional Teknologi Terapan Program Studi Teknik Kimia, Universitas Ahmad Dalan, Yogyakarta.
- Surono, Untoro Budi., Ismanto. (2016). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Janabadra.

APPENDIX A NERACA MASSA



Aliran 1 Polystrena 350 aliran 5 arang
 Aliran 2 Polyetilena 150
 Aliran 3 Zeolit 200
 Aliran 4 Asap cair

masuk				
Komponen	Persentase (%)	Massa (kg)	bm	mol
Polystrena	90	315	104.00 0	3.02884 6
n-butane	10	35	58	0.60344 8

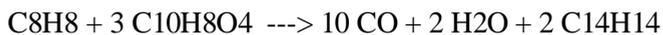
Komponen	Persentase (%)	Massa (kg)	bm	mol
PET	100	150	192	0.78125

Komponen	Percentase (%)	Massa (kg)	bm	mol
alumina	62.75	125.5	102	1.2303 92
silika	12.71	25.42	60.08	0.4231 03
hidrogen	24.54	49.08	2	24.54
Total komponen		700		

keluar			
komponen	persentase		massa
benzen	92.5	91.665840 85	641.66 09
nephtalen	8.41	8.3341591 52	58.339 11
	100.91	100	700

masuk		keluar			
komponen	massa	komponen	massa		
Polystrena	315	benzen	641.6608859		
n-butane	35	nephtalen	58.33911406		
PET	150				
alumina	125.5				
silika	25.42				
hidrogen	49.08				

Reaksi yang terjadi



Asumsi 50% $C_{10}H_8O_4$

bereaksi

polystirena (C₈H₈)

$$\begin{aligned}
 \text{Mol C}_8\text{H}_8 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{Massa C}_8\text{H}_8}{\text{BM C}_8\text{H}_8} \\
 &= \frac{315}{104.000} \\
 &= 3.028846 \quad \text{Kmol} \\
 \text{Mol bereaksi} &= \frac{1}{3} \text{ mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= 0.130208 \quad \text{Kmol}
 \end{aligned}$$

C₁₀H₈O₄

$$\begin{aligned}
 \text{Mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 &= \frac{\text{Massa C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4}{\text{BM C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4} \\
 &= \frac{150}{192} \\
 &= 0.78125 \quad \text{kmol} \\
 \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ bereaksi} &= 0.390625 \quad \text{kmol}
 \end{aligned}$$

Produk
CO

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CO terbentuk} &= \frac{10}{3} \times \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= \frac{10}{3} \times 0.390625 \\
 &= 1.302083 \quad \text{kmol} \\
 \text{Massa CO terbentuk} &= \text{Mol CO} \times \text{BM CO} \\
 &= 1.302083 \times \\
 &= 36.45833 \quad \text{kg}
 \end{aligned}$$

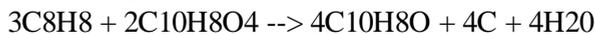
H₂O

$$\begin{aligned}
 \text{mol H}_2\text{O terbentuk} &= \frac{2}{3} \times \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0.390625 \\
 &= 0.260417 \\
 \text{Massa H}_2\text{O terbentuk} &= \text{Mol H}_2\text{O} \times \text{BM H}_2\text{O} \\
 &= 0.260417 \times 18 \\
 &= 4.6875 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

C₁₄H₁₄

$$\begin{aligned}
 \text{Mol C}_{14}\text{H}_{14} \text{ terbentuk} &= \frac{2}{3} \times \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0.390625 \\
 &= 0.260417 \\
 \text{Massa C}_{14}\text{H}_{14} \text{ terbentuk} &= \text{mol C}_{14}\text{H}_{14} \times \text{BM C}_{14}\text{H}_{14} \\
 &= 0.260417 \times 182 \\
 &= 47.39583 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

reaksi yang kedua



ASUMSI 50%

polystirena (C₈H₈)

$$\begin{aligned}
 \text{Mol C}_8\text{H}_8 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{Massa C}_8\text{H}_8}{\text{BM C}_8\text{H}_8} \\
 &= \frac{315}{104.000} \\
 &= 3.028846 \text{ kmol} \\
 \text{Mol bereaksi} &= \frac{3}{2} \text{ mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ yang bereaksi} \\
 &= 0.585938 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& \text{Mol C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 &= & \text{Massa C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& & & \text{BM C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& &= & 150 \\
& & & 192 \\
& &= & 0.78125 \text{ kmol} \\
& \text{mol C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& \text{bereaksi} &= & 0.390625 \text{ kmol}
\end{aligned}$$

PRODUK

$$\begin{aligned}
& 4\text{C}_{10}\text{H}_{8}\text{O} \\
& \text{MOL C}_{10}\text{H}_{8}\text{O} & & 4/2 \text{ X MOL} \\
& \text{TERBENTUK} &= & \text{C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& &= & 4/2 \text{ X } 0.390625 \\
& &= & 0.78125 \\
& \text{MASSA C}_{10}\text{H}_{8}\text{O} & & \text{MOL C}_{10}\text{H}_{8}\text{O} \text{ X BM} \\
& \text{TERBENTUK} &= & \text{C}_{10}\text{H}_{8}\text{O} \\
& &= & 0.78125 \text{ X } 144 \\
& &= & 112.5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 4\text{C} \\
& \text{MOL 4C} & & 4/2 \text{ X MOL} \\
& \text{TERBENTUK} &= & \text{C}_{10}\text{H}_{8}\text{O}_4 \\
& &= & 4/2 \text{ X } 0.390625 \\
& &= & 0.78125 \\
& \text{MASSA 4C TERBENTUK} &= & \text{MOL 4C X BM 4C} \\
& &= & 0.78125 \text{ X } 12 \\
& &= & 9.375
\end{aligned}$$

4H₂O

$$\begin{aligned} \text{MOL 4H}_2\text{O TERBENTUK} &= \frac{4}{2} \times \text{MOL C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \\ &= \frac{4}{2} \times 0.390625 \\ &= 0.78125 \\ \text{MASSA 4H}_2\text{O TERBENTUK} &= \text{MOL 4H}_2\text{O} \times \text{BM 4H}_2\text{O} \\ &= 0.78125 \times 18 \\ &= 14.0625 \end{aligned}$$

bahan Sisa masuk :

$$\begin{aligned} \text{mol C}_8\text{H}_8 \text{ sisa} &= \text{Mol C}_8\text{H}_8 \text{ mula-mula} - \text{Mol C}_8\text{H}_8 \text{ reaksi 1} - \text{Mol C}_8\text{H}_8 \text{ reaksi 2} \\ &= 3.028846 - 0.13020833 \\ &= 2.3127 \text{ kmol} \\ \text{Massa C}_8\text{H}_8 \text{ sisa} &= \text{mol C}_8\text{H}_8 \text{ sisa} \times \text{BM C}_8\text{H}_8 \\ &= 240.5208 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 &= \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ mula-mula} - \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ reaksi 1} - \text{mol C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4 \text{ reaksi 2} \\ &= 0.78125 - 0.390625 \\ &= 0 \end{aligned}$$

produk:

$$\begin{aligned} \text{massa terbentuk H}_2\text{O} &= \text{massa H}_2\text{O} \text{ reaksi 1} + \text{massa H}_2\text{O} \text{ reaksi 2} \\ &= 4.6875 + 14.0625 \\ &= 18.75 \text{ kg} \end{aligned}$$

neraca massa pyrolysis			
aliran masuk		aliran keluar	
komponen	massa	komponen	massa
<aliran 1>		<aliran 4>	
Polystirena C ₈ H ₈	315	benzen	47.3958333
n-butane	35	nephtalen	112.5
<aliran 2>		H ₂ O	18.75
PET	150	n-butane	35
<aliran 3>			
zeolit	200	CO	36.4583333
		<aliran 6>	
		C	9.375
		zeolit	200
		polystiren	240.520833
Total	700		700

APPENDIX B NERACA ENERGI

Heat Capacity

Komponen	Massa	Cp (kcal/kg°C)
polystirene	315	0.315384615
n-butanae	35	0.519614591
PET	150	0.434939759
alumina	125.5	0.239309533
Silica	25.42	0.196404794
hidrogen	49.08	4.6
Total	700	

Panas Pembentukan

Komponen	ΔH°_f (kcal/mol)	BM (g/mol)	Hf (Kcal/Kg)
polystirene	2.620461784	104	272528.0255
n-butanae	1.11376796	58	64598.54168
PET	6.4292614	192	1234418.189
alumina	2.52390336	102	257438.1427
Silica	-217.7010052	60.08	-13079476.39
hidrogen	-241.48	2	-482960
Total			

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ air}$$

$$= -68.315 \text{ kcal/mol}$$

$$H_1 = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Komponen	Massa	Cp (kkal/kg°C)	H ₁
polystirene	315	0.315384615	99.34615
n-butanae	35	0.519614591	18.18651
PET	150	0.434939759	65.24096
alumina	125.5	0.239309533	30.03335
Silica	25.42	0.196404794	4.99261
hidrogen	49.08	4.6	225.768
Total			443.5676

$$H_2 = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Komponen	Massa	Cp (kkal/kg°C)	H ₂
Benzene	47.39583333	32.43072414	1537.081
Neptaline	112.5	52.42357604	5897.652
H ₂ O	18.75	0.998	18.7125
N-butane	35	23.53970094	823.8895
CO	36.45833333	29.15	1062.76
C	9.375	1.8	16.875
Zeolit	200	0.196404794	39.28096
Polystirene	240.5208333	0.315384615	75.85657
Total	700		9472.108

$$\begin{aligned}
 H \text{ (air proses)} &= m_{\text{air}} \int c_p dT \\
 &= 15 \int_{298}^{303} c_p dt \\
 &= 527.49 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$

ΔH°_f produk

Komponen	F(kmol)	ΔH°_f (kcal/mol)	H_{produk} (kcal)
Benzene	0.26041666	11.711294	3.049816146
Neptaline	0.78125	4.495941866	3.512454583
H2O	1.04166666	-57.719949	-60.1249468
N-butane	0.60344827	1.11376796	0.672101355
CO	1.30208333	-26.29066	-34.2326302
C	0.78125	0.50908278	0.397720922
Zeolit	0.98943775	2.52390336	2.497245267
Polystirene	2.31270032	2.620461784	6.060342808
Total			-78.167896

ΔH°_f reaktan

Komponen	F(kmol)	ΔH°_f (kcal/mol)	H_{reakan} (kcal)
polystirene	2.31270032	2.620461784	6.060342808
PET	0.78125	6.4292614	5.022860469
Total			11.08320328

$$\Delta H_{\text{rxn } 293} = \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$= 89.25109928$$

Heat Balance Pemanas

Qin (kcal)		Qout (kcal)	
Hmasuk	443.5676	Hkeluar	9472.10848
Qsupply	9028.541		
Total	9472.108	Total	9472.108

Heat Balance Pirolisis

Qin (kcal)	Qout (kcal)
-------------------	--------------------

Hmasuk	443.5676	Hkeluar	9472.10848
Qsupply	8939.29	$\Delta H_{\text{rxn } 293}$	-89.25109928
Total	9382.857	Total	9382.857

APPENDIKS C

PERHITUNGAN BERAT KATALIS PADA PIROLISIS

1. MENGHITUNG BERAT KATALIS

$$W = \text{persen berat} \times \text{massa total}$$

$$= 10\% \times 500$$

$$= 50$$

$$W = \text{persen berat} \times \text{massa total}$$

$$= 20\% \times 500$$

$$= 100$$

$$W = \text{persen berat} \times \text{massa total}$$

$$= 30\% \times 500$$

$$= 150$$

$$W = \text{persen berat} \times \text{massa total}$$

$$= 40\% \times 500$$

$$= 200$$

BIODATA PENULIS I



Alifa Adinda Pangestu, lahir tanggal 23 April 1997 di Gresik, Jawa Timur. Setelah menamatkan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Manyar, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS Surabaya). Pada tahun kedua telah menyelesaikan Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik. Selama perkuliahan telah mengikuti pelatihan-pelatihan yang diadakan didalam ITS dan merupakan salah satu staff PSDM HIMAD3KKIM FV-ITS

Alamat e-mail :

alifaadinda@gmail.com

BIODATA PENULIS II



Penulis bernama Yusuf Robbani. Dilahirkan di Surabaya, tanggal 8 februari 1996 merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan, yaitu : SDN Percobaan Surabaya, Mts Ulul Albab sukoharjo, MA Nurul Hadid Cirebon tahun 2014, penulis mengikuti ujian masuk program Diploma III ITS dan diterima di program studi D III Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi ITS. Terdaftar dengan NRP 2315 030 096. Di program studi D III Teknik Kimia penulis mengambil judul Tugas Akhir tentang “Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar dengan Menggunakan Metode Pirolisis dan Penambahan Katalis Zeolit”. Penulis sempat mengikuti beberapa pelatihan seperti LKMM pra TD dan LKMM TD, serta pelatihan lain yang diadakan oleh Himpunan D III Teknik Kimia FV-ITS. Penulis juga merupakan anggota Himpunan Mahasiswa D III Teknik Kimia Fakultas Vokasi ITS (HIMAD3KKIM FV-ITS) sebagai anggota Badan Semi Otonom Big Event.