

BBM

by Rusdianasari Rusdianasari

Submission date: 28-Apr-2023 03:15PM (UTC+0800)

Submission ID: 2078044851

File name: Buku_Bahan_Bakar_Minyak_Dari_Limbah_Kantong_Kresek_1.pdf (9.98M)

Word count: 36105

Character count: 218049

14.33 mm

155.00 mm

230.00 mm



Novarini, S.T., M.T.
Sigit Kurniawan, S.Si., M.Si.
Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., I.PM.
Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.

BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG KRESEK

Novarini, S.T., M.T., dkk.

BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG PLASTIK

BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG KRESEK

Pola hidup praktis dan modern sekarang di tengah padatnya aktivitas, memicu masyarakat untuk menggunakan aneka ragam alat bantu dalam kehidupan. Plastik merupakan salah satu substitusi dari bahan alami yang dulunya memfasilitasi kehidupan manusia. Sifat fisik yang ringan dan fleksibel serta harga yang murah membuat masyarakat memilih lebih hidup berdampingan dengan plastik.

Kantong plastik yang sering kita kenal dengan nama sehari-hari 'kantong kresek' merupakan salah satu jenis materi yang sangat praktis dalam membantu kepraktisan masyarakat dalam upaya melindungi barang-barang yang sering dipakai maupun yang disimpan. Namun di balik kepraktisan inilah plastik jenis ini menjadi penyumbang paling besar dalam pencemaran sampah/limbah plastik di lingkungan sekitar.

Buku berjudul Bahan Bakar Minyak dari Limbah Kantong Kresek ini mencoba menyuguhkan pengetahuan dasar materi plastik, keberadaannya, dampak bagi lingkungan, serta mengemas solusi secara teknis dalam mengatasi keberadaan limbah plastik jenis kantong kresek pada khususnya.

Buku ini dikemas secara praktis, tidak berbelit-belit, dan langsung tepat pada sasaran sehingga pembaca diarahkan pada potensi untuk mengolah limbah plastik terkhusus limbah jenis kantong kresek yang tidak bernilai jual menjadi produk yang bermanfaat berjenis bahan bakar minyak yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dalam kehidupan sehari-hari.



SAMUDRA BIRU | @samudrabiru | @samudrabiru | @samudrabiru
Menyebarkan Ilmu, Penguasaan | www.samudrabiru.co.id



Editor:
Wahyu Dewanto, S.I.P., M.M.

BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG PLASTIK

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang
Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Pasal 1 ayat [1]).
2. Pencipta atau Pemegang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 2. memiliki hak ekonomi untuk melakukan: a. Penerbitan ciptaan; b. Penggandaan ciptaan dalam segala bentuknya; c. Penerjemahan ciptaan; d. Pengadaptasian, pengaransemenan, atau pentransformasian ciptaan; e. pendistribusian ciptaan atau salinannya; f. Pertunjukan Ciptaan; g. Pengumuman ciptaan; h. komunikasi ciptaan; dan i. Penyewaan ciptaan. (Pasal 9 ayat [1]).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [3]).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang 4. dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [4]).

BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG PLASTIK

57 Novarini, S.T, M.T.
Sigit Kurniawan, S.Si, M.Si.
Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., I.P.M.
Dr. Yohandri Bow, S.T, M.S.

Editor : Wahyu Dewanto, S.IP.,M.M.



BAHAN BAKAR MINYAK DARI LIMBAH KANTONG PLASTIK

© Novarini, S.T, M.T., dkk.

xviii + 186 halaman; 15.5 x 23 cm.

ISBN:

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun juga tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, September 2021

Penulis : **Novarini, S.T, M.T.**
Sigit Kurniawan, S.Si, M.Si.
Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., I.P.M.
Dr. Yohandri Bow, S.T, M.S.
Editor : Wahyu Dewanto, S.IP.,M.M.
Sampul : Tim Samudra Biru
Layout : Tim Samudra Biru

Diterbitkan oleh:

Penerbit Samudra Biru (Anggota IKAPI)

Jln. Jomblangan Gg. Ontoseno B.15 RT 12/30

Banguntapan Bantul DI Yogyakarta

Email: admin@samudrabiru.co.id

Website: www.samudrabiru.co.id

WA/Call: 0812-2607-5872

PRAKATA

Pola hidup praktis dan modern sekarang di tengah padatnya aktivitas, memicu masyarakat untuk menggunakan aneka ragam alat bantu dalam kehidupan. Plastik merupakan salah satu substitusi dari bahan alami yang dulunya memfasilitasi kehidupan manusia. Sifat fisik yang ringan dan fleksibel serta harga yang murah membuat masyarakat memilih lebih hidup berdampingan dengan plastik.

Kantong plastik yang sering kita kenal dengan nama sehari-hari kantong kresek merupakan salah satu jenis materi yang sangat praktis dalam membantu kepraktisan masyarakat dalam upaya melindungi barang-barang yang sering dipakai maupun yang disimpan. Namun dibalik kepraktisan inilah plastik jenis ini menjadi penyumbang paling besar dalam pencemaran sampah/limbah plastik di lingkungan sekitar.

Harus diakui, di lingkungan kita masih banyak yang salah dalam mengelola sampah plastik. Pengelolaan sampah limbah plastik dengan cara membakar adalah cara yang paling sering dijumpai di lingkungan karena kepraktisan dan kemudahannya. Meskipun merupakan hal yang paling mudah untuk dilakukan, namun hal ini menimbulkan masalah utamanya terhadap lingkungan sekitar. Hasil pembakaran plastik menimbulkan gas yang bersifat karsinogen (pemicu kanker), sementara menimbun sampah plastik juga akan mencemari ekosistem tanah karena sulitnya terdekomposisi secara alami.

Buku berjudul “Bahan Bakar Minyak dari Limbah Kantong Plastik” ini mencoba menyuguhkan pengetahuan dasar materi plastik, keberadaannya, dampak bagi lingkungan serta mengemas solusi secara teknis dalam mengatasi keberadaan limbah plastik jenis kantong kresek pada khususnya.

Buku ini dikemas secara praktis, tidak berbelit-belit dan langsung tepat pada sasaran sehingga pembaca diarahkan pada potensi untuk mengolah limbah plastik terkhusus limbah jenis kantong kresek yang tidak bernilai jual

menjadi produk yang bermanfaat berjenis bahan bakar minyak yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dalam kehidupan sehari-hari.

Terselesaikannya penulisan buku ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemendikbudriset yang telah membiayai dalam penerbitan buku ini melalui hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (PKPT) dalam hal ini kerjasama antara dua perguruan tinggi vokasi yaitu Politeknik Jambi dan Politeknik Negeri Sriwijaya.

Demikian juga ucapan terima kasih yang sangat tinggi kepada ibu Direktur Politeknik Jambi, Ir. Hilda Porawati, M.T. yang terus menerus memberikan semangat untuk tenaga pendidik agar terus berkarya dan meneliti juga mengabdikan kepada masyarakat. Terima kasih juga kepada mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Politeknik Jambi yang telah berkolaborasi bersama kami tenaga pendidik dalam melakukan penelitian dalam dua tahun terakhir.

Meskipun telah berusaha menghindari kesalahan, penulis menyadari bahwa buku ini masih mempunyai kelemahan dan kekurangan. Kritik merupakan perhatian agar dapat menuju kesempurnaan. Akhir kata penulis berharap agar buku ini dapat memotivasi pembaca agar lebih bijak dalam menggunakan plastik guna menjaga kelestarian alam kita yang akan terus kita wariskan ke generasi selanjutnya.

Jambi, Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PLASTIK	1
A. Pengertian	1
B. Sejarah Plastik	3
C. Karakteristik Plastik	3
D. Jenis Material Plastik	6
E. Klasifikasi Plastik	13
F. Proses Pembuatan dan Bahan Baku	18
G. Sifat Polimer Konduktif	20
H. Industri Plastik	20
BAB 2 ENERGI	21
A. Definisi Energi	21
B. Perubahan Bentuk Energi	24
C. Sumber-sumber Energi	25
D. Sumber Energi Terbarukan	26
E. Sumber Energi Tidak Terbarukan	30
F. Konversi Energi	33
BAB 3 KEBERADAAN SAMPAH DAN LIMBAH PLASTIK DI LINGKUNGAN	37

A. Keberadaan Sampah	37
B. Pengertian Sampah	39
C. Jenis – Jenis Sampah	40
D. Keberadaan Sampah/Limbah Plastik	40
E. Inovasi Tempat Sampah	48
F. Teknologi Pengolahan Limbah Plastik	51
G. Daur Ulang Sampah Plastik	54
BAB 4 BAHAN BAKAR MINYAK	59
A. Definisi dan Arti Pentingnya	59
B. Jenis-jenis Bahan Bakar	59
C. Hidrokarbon	61
D. Produksi Bahan Bakar Minyak	69
c. Adsorpsi	73
E. Jenis-jenis Bahan Bakar Minyak	75
F. Spesifikasi Dasar Bahan Bakar Minyak	78
BAB 5 PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK	81
A. Daur Ulang Limbah Plastik	83
B. Cara Mengolah Limbah Plastik	85
C. Mengubah Plastik Menjadi Bahan Bakar	85
D. Teknologi Pengolahan Limbah Plastik	87
E. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Campuran Aspal	89
F. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi <i>Ecobrick</i>	94
BAB 6 PIROLISIS	103
A. Pirolisis	103
B. Jenis-Jenis Pirolisis	104
C. Tingkatan Pirolisis	105
D. Parameter Kinerja Reaktor Pirolisis	107
E. Reaktor Pirolisis	108
F. Bahan dan Metode	113
G. Komponen Yang Memengaruhi Pirolisis	113

H. Hasil Akhir	114
I. Pemanfaatan Katalis dalam Pirolisis	120
BAB 7 PERALATAN PIROLISIS	123
A. Unit Peralatan Pirolisis Limbah Kantong Plastik	123
B. Alat <i>PreTreatment</i> Proses Pirolisis	137
C. Mesin Pengering Limbah Kantong Plastik	144
BAB 8 PENGELOLAAN LIMBAH PLASTIK KANTONG PLASTIK MENGGUNAKAN PIROLISIS	153
A. Limbah Kantong Plastik	153
B. Pencucian Limbah Kantong Plastik	154
C. Pengeringan Limbah Kantong Plastik	159
D. Pirolisis Limbah Kantong Plastik	163
E. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Limbah Kantong Plastik	167
BAB 9 PRODUK OLAHAN PIROLISIS LIMBAH PLASTIK	173
A. Jenis Plastik Bahan Baku Pirolisis	173
B. Waktu, Suhu dan Proses Pirolisis	174
C. Produk Sampingan Pirolisis Limbah Plastik	175
D. Parameter Operasi Pirolisis	177
DAFTAR PUSTAKA	181
BIODATA PENULIS	185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Plastik yang dijadikan kantong	2
Gambar 1.2 Grafik proses peningkatan suhu dan waktu plastik termoset	5
Gambar 1.3 Grafik proses peningkatan suhu dan waktu plastik termoplast	6
Gambar 1.4 Simbol PET	14
Gambar 1.5 Simbol HDPE	15
Gambar 1.6 Simbol PVC	15
Gambar 1.7 Simbol LDPE	16
Gambar 1.8 Simbol PP	16
Gambar 1.9 Simbol PS	17
Gambar 1.10 Simbol Other	17
Gambar 1.11 <i>Mesin Injection Molding</i>	18
Gambar 2.1 Aki (accu) untuk menyimpan energi listrik	22
Gambar 2.2 Energi cahaya matahari yang ditangkap solar sel dan diubah menjadi energi listrik untuk digunakan berbagai keperluan	24
Gambar 2.3 Contoh bentuk perubahan energi	25
Gambar 2.4 Klasifikasi sumber energi	25
Gambar 2.5 Diagram klasifikasi sumber energi berdasarkan sifat	26
Gambar 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin)	27
Gambar 2.7 Geothermal dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik	27

Gambar 2.8 Hydropower sumber energi terbarukan yang banyak terdapat di Indonesia	28
Gambar 2.9 Solar sel menangkap radiasi matahari dijadikan listrik	28
Gambar 2.10 Pemanfaatan biogas rumah tangga pedesaan	29
Gambar 2.11 Gambar ilustrasi biomasa yang dapat dijadikan pembangkit listrik.	30
Gambar 2.12. Pemanfaatan batu bara sebagai pembangkit listrik	31
Gambar 2.13 Penambangan gas alam	32
Gambar 2.14 Reaktor nuklir	33
Gambar 3.1 Timbunan Sampah Plastik	41
Gambar 3.2 Bahaya Sampah Plastik Terhadap Lingkungan	42
Gambar 3.3 Polutan Sampah Plastik di Laut	44
Gambar 3.4 Kerusakan Biota Laut	45
Gambar 3.5 Penumpukan Sampah di TPA	45
Gambar 3.6 Kesehatan terganggu akibat plastik	46
Gambar 3.7 Pemisahan jenis sampah berdasar warna tempat sampah	47
Gambar 3.8 Sampah Organik	49
Gambar 3.9 Sampah Non Organik	49
Gambar 3.10 Sampah B3	50
Gambar 3.11 Kerajinan hasil kreasi sampah kertas	51
Gambar 3.12: Insinerator pembakar sampah	52
Gambar 3.13 Proses sortir sampah di pabrik	53
Gambar 3.14 Salah satu produk daur ulang sampah plastik dijadikan kerajinan tangan kreatif.	54
Gambar 3.15 Pelet plastik hasil daur ulang limbah plastik	57
Gambar 4.1 Struktur Kimia Metana Alkana	61
Gambar 4.2 Siklobutana	62
Gambar 4.3 Fraksi dan manfaat minyak bumi	71
Gambar 5.1 Limbah plastik yang sudah dipilah siap untuk diolah	84
Gambar 5.2 Aspal drum dalam proses transportasi	90

Gambar 5.3 Pengerasan jalan dengan aspal	91
Gambar 5.4 Membangun rumah dengan ecobrick	95
Gambar 5.5 Sofa dibuat dari rangkaian ecobrick	96
Gambar 5.6 Cara Membuat Ecobrick	97
Gambar 5.7 Proses pembuatan batako campuran plastik	99
Gambar 5.8 Plastik komposit beton	101
Gambar 6.1 Mesin pirolisis skala industri	104
Gambar 6.2 Diagram penguraian bahan bakar padat karena pirolisis	106
Gambar 6.3 Skema Reaktor <i>Fixed</i>	109
Gambar 6.4 Skema Reaktor <i>Bubbling Fluidized Bed</i>	110
Gambar 6.5 Skema Reaktor <i>Circulating Fluidized Bed</i>	110
Gambar 6.6 Skema Reaktor <i>Ultra-Rapid Pyrolizer</i>	111
Gambar 6.7 Skema Reaktor <i>Ablative Pyrolizer</i>	112
Gambar 6.8 Skema Reaktor <i>Rotating Cone</i>	112
Gambar 6.9 Skema Reaktor <i>Vacuum Pyrolizer</i>	113
Gambar 6.10 Karbon aktif setelah diolah dalam bentuk pil untuk mengatasi keracunan	115
Gambar 6.11 Minyak hasil pirolisis dari limbah plastik	115
Gambar 6.12 Biocahar yang berasal dari biomass	116
Gambar 6.13 Briket biocoal	117
Gambar 6.14 Produk asap cair hasil industri kecil	118
Gambar 7.1 Rancangan unit peralatan pirolisis limbah plastik	123
Gambar 7.2 Pipa <i>stainless stell</i> bahan tabung kondensor	124
Gambar 7.3 Plat tutup atas dan bawah reaktor	125
Gambar 7.4 Tutup atas tabung reaktor	125
Gambar 7.5 Perakitan tutup atas	126
Gambar 7.6 Perakitan tutup bawah	126
Gambar 7.7 Mengisolasi Reaktor Dengan <i>GlassWool</i>	127
Gambar 7.8 Tabung penampungan tar	127
Gambar 7.9 Heat Exchanger Kondensor Alat Pirolisis	128

Gambar 7.10 Pipa <i>Tube</i> Kondensor	133
Gambar 7.11 Pipa Besi <i>Shell</i> Kondensor	133
Gambar 7.12 Merapikan Hasil Las dengan Menggunakan Gerinda	134
Gambar 7.13 Memasukkan Pipa <i>tube</i> kedalam <i>Shell</i> Kondensor	134
Gambar 7.14 Membuat Lubang Pada Kondensor	135
Gambar 7.15 Memasang Pompa Air	135
Gambar 7.16 Menyambungkan reaktor ke kondenser	136
Gambar 7.17 Pengecatan dasar alat pirolisis	136
Gambar 7.18 Pengecatan pada alat pirolisis	137
Gambar 7.19 Alat pirolisis limbah kantong plastik kapasitas 2,5 kg	137
Gambar 7.20 Desain 3D Mesin pencuci limbah plastik.	138
Gambar 7.21 Proses Pemotongan Besi.	139
Gambar 7.22 Proses Penyatuan kerangka.	140
Gambar 7.23 Proses Pemasangan Wadah Bak Pencuci.	140
Gambar 7.24 Proses Membuat Sudu Pencuci.	141
Gambar 7.25 Hasil Pengecatan Dasar <i>E-Poxy</i>	142
Gambar 7.26 Pengecatan Tahap Terakhir	142
Gambar 7.27 Semua Komponen Telah Terpasang Semua.	143
Gambar 7.28	143
Gambar 7.29 Desain 3D pengering limbah kantong plastik	144
Gambar 7.30 Pemotongan Drum Besi	147
Gambar 7.31 Penyambungan Drum Besi	147
Gambar 7.32 Pengelasan Rangka	148
Gambar 7.33 Proses Penyambungan Rangka ke Drum Besi	148
Gambar 7.34 Proses Pembuatan Sudu	149
Gambar 7.35 Pembuatan Kedudukan Mesin <i>Diesel</i>	150
Gambar 7.36 Pemasangan Jaring-jaring	150
Gambar 7.37 Pengecatan tahap akhir	151
Gambar 8.1 Rangkaian pengolahan pirolisis limbah kantong plastik	154
Gambar 8.2 Proses penimbangan limbah kantong plastik kotor	155

Gambar 8.3 Membuka <i>drain</i> kran saluran bahan bakar	155
Gambar 8.4 Pengoprasian mesin <i>diesel</i>	156
Gambar 8.5 Mengatur kecepatan mesin <i>diesel</i>	156
Gambar 8.6 Proses pencucian limbah kantong plastik	157
Gambar 8.7 Membuka drain <i>drain</i> air	157
Gambar 8.8 Menutup <i>drain</i> kran air	158
Gambar 8.9 Menutup <i>drain</i> kran minyak	159
Gambar 8.10 Membuka <i>drain</i> kran saluran bahan bakar	160
Gambar 8.11 Mengoperasikan mesin <i>diesel</i>	160
Gambar 8.12 Mengatur kecepatan pada mesin <i>diesel</i>	161
Gambar 8.13 Masuknya limbah ke dalam saluran masuk	161
Gambar 8.14 Proses pengeringan limbah kantong plastik	162
Gambar 8.15 Limbah kantong plastik kering yang tersisa di rak pengering	162
Gambar 8.16 Limbah kantong plastik kering yang keluar dan yang tersisa di bak pengering	163
Gambar 8.17 Pengisian air pendingin pada kondensor	164
Gambar 8.18 Membuka tempat pemasukan limbah kantong plastik	164
Gambar 8.19 Memasukkan limbah kantong plastik ke reaktor	165
Gambar 8.20 Menyalakan tungku reaktor pirolisis	165
Gambar 8.21 Proses menunggu tercapainya temperatur setting di reaktor	166
Gambar 8.22 Penampungan bahan bakar minyak yang dihasilkan	166
Gambar 8.23 Bahan bakar minyak yang dihasilkan	167
Gambar 9.1 Minyak hasil pirolisis limbah plastik	175
Gambar 9.2 Pemanfaatan gas hasil pirolisis	176
Gambar 9.3 Carbon black hasil pirolisis	177

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbedaan Plastik Berdasarkan Sifat Thermal	6
Tabel 4.1 Hidrokarbon Sederhana	62
Tabel 4.2. Lima Gravitasi API	65
Tabel 4.3 Tabel Klasifikasi Volatility	66
Tabel: Klasifikasi Berdasarkan Sifat Penguapan	66
Tabel 4.4. Klasifikasi Minyak Mentah menurut Sachanen	66
Tabel 4.5. Klasifikasi minyak bumi menurut U.S. Bureau of Mines	67
Tabel 4.6. Klasifikasi Minyak Bumi menurut Kadar Sulfur	67
Tabel 4.7 Klasifikasi Minyak Bumi Menurut <i>Viscosity Gravity Constant (VGC)</i>	68
Tabel 4.8. Klasifikasi Minyak Bumi menurut <i>Correlation Index (CI)</i>	68
Tabel 4.9 Fraksi-Fraksi Dari Minyak Mentah	75
Tabel 5.1 Jenis dan Sifat Plastik	81
Tabel 5.2 Suhu softening dari berbagai variabel plastik	94
Tabel 7.1 <i>Thermophysical Properties of Saturated Fluids</i>	129
Tabel 7.2 <i>Thermophysical Properties of Saturated Water</i>	130
Tabel 6.3 Persiapan Alat Kerja	139
Tabel 7.4 Persiapan Alat Kerja	145
Tabel 7.5 Bahan yang Digunakan	145
Tabel 7.6 Bahan Yang Digunakan	146
Tabel 8.1 Metode Analisa	168
Tabel 8.2 Hasil Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Berkatalis	168

Tabel 8.3 Hasil Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Tidak Berkatalis	168
Tabel 9.1 Analisis Proksimat Plastik	174
Tabel 9.2 Parameter operasi dan hasil produk untuk jenis pirolisis	175
Tabel 9.3 Produk dihasilkan dari pirolisis campuran plastik dengan perubahan suhu.	178
Tabel 9.4 Beberapa sifat fisik dan kimia bahan bakar pirolitik yang dihasilkan dari berbagai jenis plastik	179

BAB 1 PLASTIK

A. Pengertian

Hasil inovasi teknologi bidang kimia yang saat ini banyak dimanfaatkan oleh masyarakat salah satu diantaranya adalah plastik. Bahan ini dikenal memiliki sifat-sifat serba guna, dengan variasi tingkat kekerasan dan kelenturan. Pada beberapa aplikasi, jika dibandingkan dengan logam atau bahan lainnya, biaya produksi plastik sangat murah dan mempunyai keawetan yang baik sehingga tahan lama.

Plastik adalah polimer rantai panjang atom mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang di tulang belakang. Tulang belakang adalah bagian dari rantai di jalur utama yang menghubungkan unit monomer menjadi kesatuan. Untuk mengeset properti plastik grup molekuler berlainan bergantung dari tulang belakang (biasanya digantung sebagai bagian dari monomer sebelum menyambungkan monomer bersama untuk membentuk rantai polimer).

Pada tahap awal, plastik diproduksi dari bahan-bahan alami yang berasal dari alam seperti bagian tumbuhan dan hewan. Plastik alami biasa dibuat dari kolagen, getah atau selulosa termodifikasi. Dengan meniru bahan alami kemudian dikembangkanlah bahan plastik sintetis dari berbagai jenis senyawa kimia. Saat ini mayoritas plastik yang beredar di pasaran dibuat dari bahan sintesis yang menggunakan reaksi polimerisasi. Bahan baku yang diperoleh melalui proses sintesis dari berbagai bahan mentah seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Plastik juga dapat dinamakan bahan organik karena terdiri dari persenyawaan karbon

Pengertian plastik sendiri menurut Surono (2013) merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon (C) dan Hidrogen

(H). Secara kimia, plastik adalah merupakan bahan polimer yang memiliki kemampuan untuk dicetak atau dibentuk, biasanya dengan penerapan panas dan tekanan. Sifat plastisitas ini, sering ditemukan dalam kombinasi dengan sifat khusus lainnya seperti kepadatan rendah, konduktivitas listrik rendah, transparansi, dan ketangguhan, memungkinkan plastik dibuat menjadi berbagai macam produk. Plastik sendiri adalah jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah suatu proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (polimer atau makromolekul).

Bahan polimer ini dapat dibuat menjadi berbagai bentuk. Paparan panas dan tekanan dapat menjadikannya berbagai bentuk seperti lembaran, batangan, balok, dan silinder. Sesuai dengan kebutuhan, polimer tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan mulai dari pembuatan botol, kantong kresek, alat-alat listrik bahkan sampai aplikasi bangunan serta konstruksi dan lain sebagainya.

Secara kimia, plastik merupakan bahan yang mudah terbakar sehingga meningkatkan resiko kebakaran. Asap hasil pembakaran produk berbahan dasar produk ini sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti Karbon Monoksida (CO) dan Hidrogen Sianida (HCN), kedua bahan tersebut adalah merupakan penyebab pencemaran udara.



Gambar 1.1 Plastik yang Dijadikan Kantong

Selain banyak keunggulan dari plastik, ternyata senyawa ini mengandung ancaman yang berhubungan dengan masalah lingkungan. Benda yang terbuat dari plastik ketika sudah tidak digunakan akan menjadi limbah dan sulit diurai oleh mikroorganisme. Plastik ketika dibuang ke tanah tidak mudah lapuk atau terdekomposisi sehingga mencemari tanah dan lingkungan. Sifat keunggulan plastik yang awet dan tidak mudah terdekomposisi inilah yang mencemari lingkungan karena peruraian kembali bahan plastik menjadi komponen yang aman diketahui memerlukan waktu sampai ratusan tahun.

Keadaan ini tentu saja menyebabkan penurunan populasi fauna tanah yang disebabkan menurunnya mineral baik organik maupun anorganik di dalam tanah. Akibat limbah plastik yang tidak terurai menyebabkan fauna tanah sulit mendapatkan Oksigen (O_2) karena plastik menghalangi atau menutupi lubang udara.

B. Sejarah Plastik

Produk plastik pertama kali dibuat pada tahun 1862 oleh Alexander Parkes yang berbahan selulosa. Bahan temuan Parkes ini disebut Parkesin. Pada tahun 1907 seorang ahli kimia dari New York yang bernama Leo Baekland berhasil membuat bahan sintesis pertama. Dia mengembangkan Bakelite yang merupakan resin cair. Material ini tidak terbakar, tidak mencair dan tidak meleleh dalam larutan asam cuka. Hal tersebut menyebabkan bahan ini ketika terbentuk tidak berubah lagi.

Plastik merupakan material yang baru, secara luas digunakan dan dikembangkan sejak tahun 1975 yang diperkenalkan oleh Montgomery ²⁶rd, Jodan Marsh, J.C. Penny, Sears dan toko-toko retail besar lainnya. Bahan polimer ini berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005.

C. Karakteristik Plastik

1. Plastik Berdasarkan Sumbernya

Berdasarkan sumbernya, pembuatan plastik berasal dari polimer alami dan polimer sintesis.

a. Polimer alami

Polimer alami adalah polimer yang didapat dari alam. Polimer alam yang telah kita kenal antara lain : selulosa, protein, karet alam dan sejenisnya. Pada mulanya polimer alam hanya digunakan untuk membuat perkakas dan senjata, selanjutnya polimer dimodifikasi menjadi plastik. Plastik yang

pertama kali dibuat secara komersial adalah nitroselulosa. Saat ini material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting dibidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, furniture, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak – anak dan produk – produk industri lainnya.

b. Polimer sintetis

Adalah jenis polimer yang dibuat melalui polimerisasi monomer.

- a) Tidak terdapat secara alami seperti nylon, poliester, polipropilen, polistiren
- b) Terdapat di alam tetapi dibuat oleh proses buatan seperti karet sintetis
- c) Polimer alami yang dimodifikasi, contohnya seluloid, cellophane (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisika asalnya).

2. Plastik Berdasarkan Jumlah Rantai Karbonnya

- a. 1 ~ 4 Gas (LPG, LNG)
- b. 5 ~ 11 Cair (bensin)
- c. 9 ~ 16 Cairan dengan viskositas rendah
- d. 16 ~ 25 Cairan dengan viskositas tinggi (oli, lemak)
- e. 25 ~ 30 Padat (parafin, lilin)
- f. 1000 ~ 3000 Plastik (polistiren, polietilen, dll)

3. Plastik Berdasarkan Sifat Termalnya

Karakteristik plastik berdasarkan sifat termalnya plastik dibagi menjadi dua:

a. Plastik Termoplas

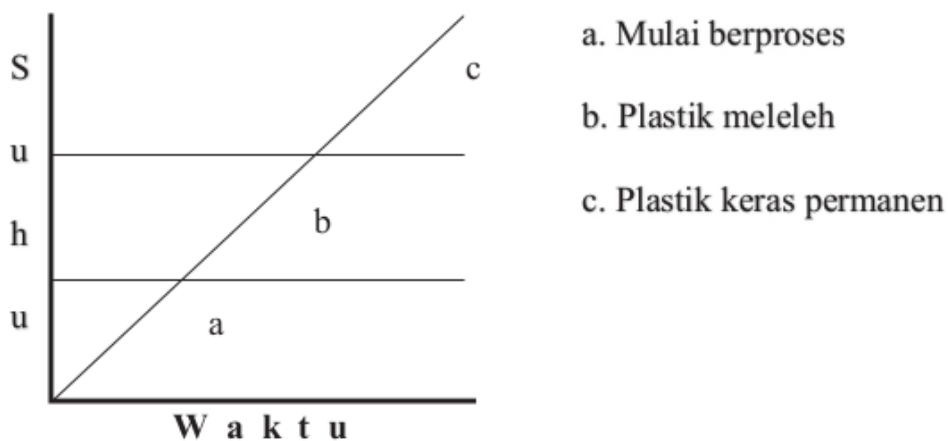
Plastik thermoplast adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik thermoplast antara lain : PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, Polyacetal (POM), PC dan lain-lain.

b. Plastik Termoset

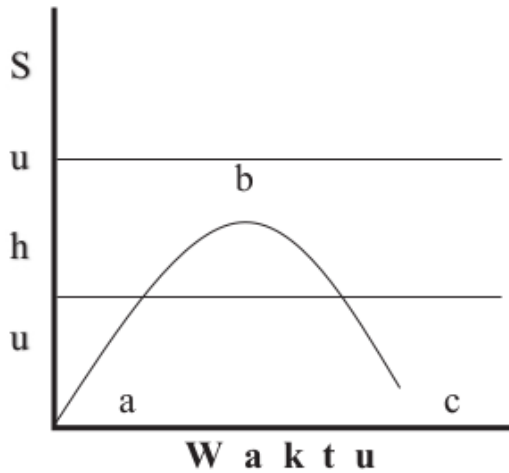
Plastik termoset adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat di ³⁰ak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik termoset adalah: PU (Poly Urethane), UF (Urea Formaldehyde), MF (Melamine Formaldehyde), polyester, epoksi dan lain-lain.

Plastik termoset mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a) Bersifat keras karena molekulnya mempunyai ikatan-ikatan silang.
- b) Menjadi lebih keras ketika dipanaskan karena panas itu menyebabkan ikatan-ikatan silang lebih mudah terbentuk
- c) Tidak dapat larut dalam pelarut apapun,
- d) Tidak meleleh jika dipanaskan,
- e) Lebih tahan terhadap asam dan basa,
- f) Rusak jika dipanaskan dan tidak dapat kembali seperti semula karena struktur molekulnya mempunyai ikatan silang antar rantai.
- g) Polimer termosetting, disusun secara permanen dalam bentuk pertama kali mereka dicetak.
- h) Sekalipun polimer-polimer termosetting lebih sulit untuk dipakai ulang daripada termoplastik, namun polimer tersebut lebih tahan lama.
- i) Polimer ini banyak digunakan untuk membuat alat-alat rumah tangga yang tahan panas seperti cangkir dan piring.



Gambar 1.2 Grafik Proses Peningkatan Suhu dan Waktu Plastik Termoset



- a. Mulai berproses
- b. Plastik meleleh
- c. Plastik keras tetapi bisa dilunakkan kembali

Gambar 1.3 Grafik Proses Peningkatan Suhu dan Waktu Plastik Termoplast

Tabel 1.1 Perbedaan Plastik Berdasarkan Sifat Thermal

Plastik Termoplas	Plastik Termoset
Mudah diregangkan	Keras dan rigid
Fleksibel	Tidak fleksibel
Melunak jika dipanaskan	Mengeras jika dipanaskan
Titik leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

Dalam dunia industri plastik, untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki pasar, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan atau aditif. Penggunaan bahan tambahan ini 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 dan sebagainya.

D. Jenis Material Plastik

Plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik yang terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer. Plastik dapat dibentuk menjadi film atau fiber sintetik. Plastik didesain dengan variasi yang sangat banyak dalam properti yang dapat menoleransi panas, keras, ketahanan, dan lain-lain. Digabungkan dengan kemampuan adaptasinya, komposisi yang umum dan beratnya yang ringan. Beberapa jenis material plastik yang ada di pasaran diantaranya:

1. Plastik Termoplas Propilen

Bahan baku propilen (*polypropylene*) merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Propilena mempunyai berat jenis (*specific gravity*) rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. *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.

2. Polistirene (PS)

Polistirene adalah hasil polimerisasi dari monomer-monomer stirena, yang didapat dari hasil proses dehidrogenisasi etil benzen, dengan bantuan katalis sedangkan etil benzene-nya sendiri merupakan hasil reaksi antara etilena dengan benzene juga dengan bantuan katalis.

Sifat-sifat umum dari polistirena adalah sebagai berikut:

- a. Sifat mekanis kaku, keras, mempunyai bunyi seperti metallik bila dijatuhkan.
- b. Ketahanan terhadap bahan kimia tidak sebaik ketahanan yang dipunyai oleh PP atau PE. PS larut dalam eter, hidrokarbon aromatic dan *chlorinated hydrocarbon*.
- c. Kekuatan permukaan relatif lebih keras dibandingkan dengan jenis termoplastik yang lain, walaupun mudah tergores.
- d. Derajat transparansi yang tinggi sehingga dapat melalui semua panjang gelombang cahaya (A 90%).
- e. Daya kilau yang baik yang tidak dipunyai oleh jenis plastik lain dengan indeks refraksi 1,592.
- f. Daya serap air yang rendah (di bawah 0,25%), baik digunakan untuk keperluan alat-alat listrik.
- g. Ketahanan panas (*softening point*) rendah (90°C) sehingga tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi, atau misalnya pada makanan yang panas. Suhu maksimum yang boleh dikenakan dalam pemakaian adalah 75°C.

3. **Akrilonitril Butadiene Stirena (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) atau ABS.**

Akrilonitril Butadiene Stirena termasuk kelompok *engineering thermoplastic* yang berisi 3 monomer pembentuk. Akrilonitril 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 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 ultra violet dan lain-lain. ABS mempunyai sifat-sifat :

- a) biaya proses rendah
- b) liat, keras, kaku
- c) dapat didesain menjadi berbagai bentuk
- d) memberi kilap permukaan yang baik
- e) dapat direkatkan
- f) tahan bahan kimia
- g) tahan korosi
- h) dapat dielektroplating

Diproses dengan tehnik cetak injeksi, ekstrusi, thermoforming, cetak tiup, roto moulding dan cetak kompresi, ABS banyak digunakan untuk membuat peralatan seperti komponen elektronika, otomotif dan barang tahan lama lainnya mulai dari korek api, body peralatan elektronik, kran air, frame kaca, dudukan kloset dan lain sebagainya.

4. **Polivinil Klorida (*Polyvinyl Chloride*)**

Polivinil klorida adalah 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 berupa calendering, ekstrusi dan cetak injeksi. Proses calendering menghasilkan barang barang berupa sheet atau lembaran seperti film, kulit sintetis dan penutup lantai. Ekstrusi yang merupakan cara

pengolahan PVC yang banyak digunakan karena dengan proses ini dapat dihasilkan bermacam-macam produk. 'Extruder head' dapat diganti dengan bermacam bentuk untuk menghasilkan pipa, tube, building profile, sheet, floor covering dan monofilament, isolasi kabel, barang berongga dan blown film. Sedang cetak injeksi akan menghasilkan produk diantaranya sol sepatu, sepatu boot, container, sleeve (penguat leher baju), valve, Fitting, electrical and engineering parts.

5. Poliasetal (*Polyacetal*)

Poliasetal atau ada juga yang menyatakan dengan *Polyoxymethylene* (POM) merupakan salah satu engineering plastic yang penting yang banyak digunakan di bidang elektronik, bangunan dan sektor alat-alat teknik. POM adalah bahan termoplastik juga dikenal sebagai asetal. Ini adalah molekul yang mengandung gugus fungsi karbon yang terikat pada dua gugus -OR. POM pertama kali ditemukan oleh ahli kimia Jerman Hermann Staudinger yang memenangkan Hadiah Nobel Kimia tahun 1953. Dia telah mempelajarinya pada tahun 1920-an tetapi ternyata tidak stabil secara termal. DuPont mensintesis sebuah versi dan mengajukan perlindungan paten dari homopolimer yang mengkredit R.N. MacDonald sebagai penemunya.

Sifat-sifat umum resin asetat adalah:

- a. *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 bengkokan (*flexural fatigue*) yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan baku pegas.
- b. *Toughness*, liat, tahan pukul meskipun pada suhu rendah, kemulurannya pada suhu kamar mencapai 12% dan pada suhu yang lebih tinggi mencapai 18%.
- c. *Thermal*, mempunyai titik leleh homopolimer asetal lebih rendah daripada *engineering thermoplastic* lainnya.
- d. *Electrical*, dipengaruhi oleh kandungan uap air. Konstanta dielektrikalnya bervariasi dari frekwensi 10² -10⁶ Hz, dan *dielectric strength*-nya tinggi.
- e. *Chemical*, tahan terhadap bermacam-macam pelarut, eter, minyak pelumas, minyak, bensin, bahan bakar dari methanol, dll.
- f. *Friction*/umur pakai baik karena permukaannya lebih keras dan koefisien gesekannya rendah.

- g. *Flameability*, material yang terbakar pelan-pelan dan berasap sedikit.
- h. *Stabilizants* dimensi, menyerap sangat sedikit uap air, maka perubahan dimensinyapun sangat kecil.

6. *Polycarbonate* (**polikarbonat**)

Polycarbonate (polikarbonat) merupakan *engineering plastic* yang dibuat dari reaksi kondensasi bisphenol A dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali. Polikarbonat mempunyai sifat-sifat : jernih seperti air, *impact strength*-nya sangat bagus, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, suhu penggunaannya tinggi, mudah diproses, flameabilitasnya rendah.

Untuk menghasilkan produk – produknya melalui proses dengan teknik pengolahan termoplastik pada umumnya, yaitu cetak injeksi, ekstruksi, cetak tiup, dan structural foam moulding. Sheet polikarbonat dapat diproses dengan teknik thermoforming menggunakan tekanan maupun vakum. PC juga dapat dikenai proses finishing meliputi pelarut dan adhesive bonding, pengecatan, printing, hot-stamping, ultrasonic welding dan lain-lain. Penggunaan polikarbonat di berbagai sektor sangat luas, antara lain:

- a. 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.
- b. Sektor makanan, PC digunakan untuk tempat minuman, mangkuk pengolah makanan, alat makan/minum, alat masak microwave, dll, khususnya yang memerlukan produk yang jernih.
- c. Bidang medis : filter housing, tubing connector, peralatan operasi yang harus disterilisasi.
- d. Industri elektrikal. PC digunakan untuk membuat konektor, pemutus arus, tutup baterai, ‘light concentrating panels’ untuk display kristal cair, dll
- e. Alat/mesin bisnis. PC dapat digunakan untuk membuat : rumah dan komponen bagian dalam dari printer, mesin fotokopi, konektor telepon, dll.

7. **Poliamida atau lebih dikenal sebagai nylon.**

Nama nylon merupakan istilah yang digunakan terhadap poliamida yang mempunyai sifat-sifat dapat dibentuk serat, film dan plastik. Struktur

nylon ditunjukkan oleh gugus amida yang berkaitan dengan unit hidrokarbon ulangan yang panjangnya berbeda-beda dalam suatu polimer. Secara umum nylon mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Secara umum nylon bersifat keras, berwarna krim, sedikit tembus cahaya.
- b. Berat molekul nylon bervariasi dari 11.000-34.000
- c. 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 lelehnyapun menurun.
- d. Sedikit higroskopis : oleh karena itu perlu dikeringkan sebelum dipakai, karena sifat mekanis maupun elektriknya dipengaruhi juga oleh kelembaban relative dari admosfir.
- e. Tahan terhadap solvent organic seperti alcohol, eter, aseton, petroleum eter, benzene, CCl₄ maupun xylene.
- f. Dapat bereaksi dengan phenol, formaldehida, alcohol, benzene panas dan nitrobenzene panas.
- g. 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.
- h. Penambahan aditif dalam nylon dimaksud untuk memperbaiki sifat-sifat nylon.
- i. 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 :

a) 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

b) 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, reflektor lampu depan, penutup stir, dop roda mobil, dll.

c) Tekstil

Di industri tekstil, nylon 6 digunakan untuk membuat : bobbin (gelondong benang), perkakas tenun, ring yang dapat dipindah-pindah, gear, dll. Peralatan rumah tangga Nylon digunakan untuk furniture, peralatan dapur, folding door, komponen mesin jahit, kancing, pegangan pisau, kerangka pencukur elektrik.

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

e) Kemasan

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

8. 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 518-608oF, 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.

E. Klasifikasi Plastik

Berdasarkan bisa atau tidaknya dibentuk kembali, kinerja dan berdasarkan sifat daur ulangnya, plastik diklasifikasikan dalam beberapa jenis:

1. Jenis Plastik Berdasarkan Bisa Atau Tidaknya Dibentuk Kembali

Berdasarkan bisa atau tidaknya plastik untuk dibentuk kembali dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu *thermosetting* dan *thermoplastic*.

- a. *Thermosetting* adalah jenis yang jika dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.
- b. *Thermoplastic* adalah jenis yang bila dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan.

Berdasarkan sifat kedua kelompok di atas *thermoplastic* merupakan jenis yang memungkinkan untuk dapat didaur ulang.

2. Jenis Plastik Berdasarkan Kinerja

Berdasarkan kinerja dan penggunaannya, benda ini dibagi menjadi tiga jenis yaitu teknis, teknik khusus dan komoditas.

- a. Plastik teknis memiliki sifat yang tahan panas hingga di atas 100°C dan memiliki sifat mekanik yang baik. Jenis plastik ini sering digunakan dalam pembuatan komponen elektronik maupun otomotif.
- b. Plastik khusus merupakan jenis yang memiliki sifat tahan panas hingga 150°C yang banyak digunakan untuk komponen pembuatan pesawat.
- c. Plastik komoditas merupakan jenis tidak tahan panas dan memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Biasanya jenis ini biasa digunakan sebagai pembungkus makanan, kemasan barang-barang elektronik, botol minuman dan sebagainya.

3. Jenis Plastik Berdasarkan Sifat Daur Ulang

Teknologi dalam industri plastik di seluruh dunia saat ini sudah mengakomodir produk plastik yang relatif ramah lingkungan. Ada beberapa jenis plastik ramah lingkungan yang dapat di daur ulang. Produk-produk plastik ini dikenal dengan pencantuman simbol 3R (Reuse, Reduce, dan Recycle) dengan kode 1-7.

American Society of Plastic Industry telah membuat sistem dengan kode atau simbol yang berbentuk segitiga arah panah. Bentuk ini merupakan simbol daur ulang dan di dalamnya terdapat nomor yang merupakan kode dan resin yang memiliki informasi tertentu. Adapun jenis berdasarkan kodenya adalah sebagai berikut :

a. PET

PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah jenis plastik yang penggunaannya untuk sekali saja. Contoh tipe plastik jenis ini adalah botol minyak goreng, botol kemasan air mineral, botol sambal, jus, botol kosmetik, dan botol obat. Meskipun sering digunakan untuk wadah makanan atau minuman plastik jenis PET mengandung antimon trioksida suatu zat yang dapat menyebabkan kanker sehingga tidak baik digunakan sebagai wadah penyimpanan makanan dalam waktu yang lama. Walaupun sekali pakai, PET bisa didaur ulang. Produk yang bisa dihasilkan dari RPET (*Recycled PET*) sangat beragam, misalnya benang untuk baju, koper, suku cadang otomotif, karung, bahkan bijih plastik sebagai bahan dasar untuk memproduksi PET yang baru.



Gambar 1.4 Simbol PET

b. HDPE

Jika dibandingkan dengan plastik jenis PET, plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) memiliki struktur yang relatif lebih kuat dan tahan terhadap berbagai jenis bahan kimia. Plastik HDPE sangat kuat dan tidak mudah rusak di bawah paparan sinar matahari atau suhu panas dan beku yang ekstrem.

Plastik ini dianggap lebih aman digunakan untuk kemasan berbagai jenis produk, termasuk makanan dan minuman. Walau memiliki bahan yang lebih kuat dan tahan terhadap suhu tinggi namun HDPE hanya untuk sekali pemakaian.

Contoh penggunaan HDPE adalah kemasan jus, botol susu, obat, dan shampoo. salah satu yang aman penggunaannya karena dapat mencegah reaksi kimia sehingga cocok untuk botol susu cair, botol obat, botol kosmetik dan jerigen pelumas.

Meskipun plastik ini tidak bisa terurai secara biologis, HDPE termasuk jenis plastik yang paling mudah didaur ulang, bahkan, bisa didaur ulang setidaknya hingga 10x Hasil daur ulangnya bisa menjadi mainan, meja, botol, pulpen, dan lain-lain.



Gambar1.5 Simbol HDPE

c. PVC

Sebenarnya, PVC adalah salah satu plastik yang paling berbahaya, karena kandungan klorin yang tinggi serta bahan kimia beracun karsinogenik lainnya seperti bisphenol A (BPA), timbal, dioksin, dan merkuri. Selain berbahaya, proses daur ulang PVC juga membutuhkan teknologi tinggi dan rumit, sehingga tidak banyak pabrik yang bisa mendaur ulang PVC.

Maka, lebih baik hindari penggunaan PVC dalam kondisi apapun. PVC yang memiliki kandungan DEHA yang dapat lumer pada suhu 80 derajat Celsius sehingga berbahaya bagi ginjal dan hati. Tidak cocok digunakan untuk pembungkus makanan sehingga lebih cocok untuk penggunaan pipa bangunan, pipa selang air, taplak meja, mainan



Gambar 1.6 Simbol PVC

d. LDPE

Mempunyai struktur yang ringan dan kuat, LDPE (*Low Density Polyethylene*) termasuk jenis plastik yang murah dan mudah diproduksi serta aman sebagai bungkus produk konsumsi. Penggunaan LDPE sangat sering dijumpai pada makanan atau minuman, mulai dari kantong kresek, bungkus roti, botol madu, bungkus frozen food, dan lain-lain. Meskipun aman digunakan, plastik ini tidak ramah lingkungan karena sulit didaur ulang.



Gambar 1.7 Simbol LDPE

e. PP

PP (*Polypropylene*) merupakan tipe plastik ini kuat dan tahan terhadap panas. Plastik ini banyak digunakan pada wadah bekal makanan dan minuman karena salah satu jenis plastik yang aman untuk makanan dan minuman. Sayangnya, fasilitas mendaur ulang PP belum banyak tersedia karena termasuk yang paling sulit didaur ulang. Pemanfaatan untuk tutup botol, cup, bungkus margarin, dan mainan anak.



Gambar 1.8 Simbol PP

f. PS

PS (*Polystyrene*) atau plastik PS biasa dikenal sebagai *styrofoam*. Plastik ini digunakan untuk mangkuk sekali pakai dan wadah makanan. Ciri plastik PS antara lain kaku buram dapat terpengaruh lemak dan pelarut

lunak pada suhu 95°C. Pada plastik styrefoam bentuknya seperti busa bobot ringan dan berwarna putih. Banyak digunakan sebagai tempat makanan di restoran cepat saji dan wadah kopi.

Secara struktural plastik PS sangat rapuh dan mudah rusak sehingga mudah tersebar ke lingkungan. PS dapat melarutkan stirena kemungkinan bahwa karsinogen dalam produk makanan terutama bila dipanaskan dalam *microwave*. Bahan kimia yang terdapat dalam *styrofoam* tidak baik bagi kesehatan manusia karena dapat menyebabkan disfungsi sistem reproduksi, otak dan syaraf. Tidak hanya berbahaya bagi kesehatan, *styrofoam* juga tidak bisa didaur ulang.



Gambar 1.9 Simbol PS

g. Other

Other (O), jenis plastik lainnya selain 6 contoh klasifikasi kemasan yang telah dijelaskan sebelumnya. Kode nomor 7 digunakan untuk bahan plastik selain di atas, contohnya plastik baru, *bioplastic*, atau campuran seperti *Polycarbonate* (PC). Penggunaan PC pada wadah makanan dan botol minuman sangat berbahaya karena memiliki kandungan BPA (*bisphenol A*) yang sangat tinggi. Sebagian besar pabrik daur ulang tidak menerima plastik dengan kode nomor 7 karena cenderung sulit didaur ulang.



Gambar 1.10 Simbol Other

Produk plastik diatas dikenal sebagai plastik ramah lingkungan yang dapat didaur ulang. Meskipun begitu, dalam prakteknya tidak semuanya dapat

dilakukan dengan mudah. Industri daur ulang plastik hanya memilih jenis plastik tertentu saja seperti HDPE atau PETE dari masyarakat yang biasanya dikumpulkan oleh pemulung yang disetor ke pengepul dalam kondisi bersih tidak tercampur jenis plastik lainnya.

Plastik jenis lainnya secara teori dapat didaur ulang, namun dalam kenyataannya tidak banyak industri yang menggunakan. Hal ini dikarenakan kecilnya nilai ekonomi sehingga plastik selain jenis di atas tetap terbuang menjadi sampah yang merusak lingkungan.

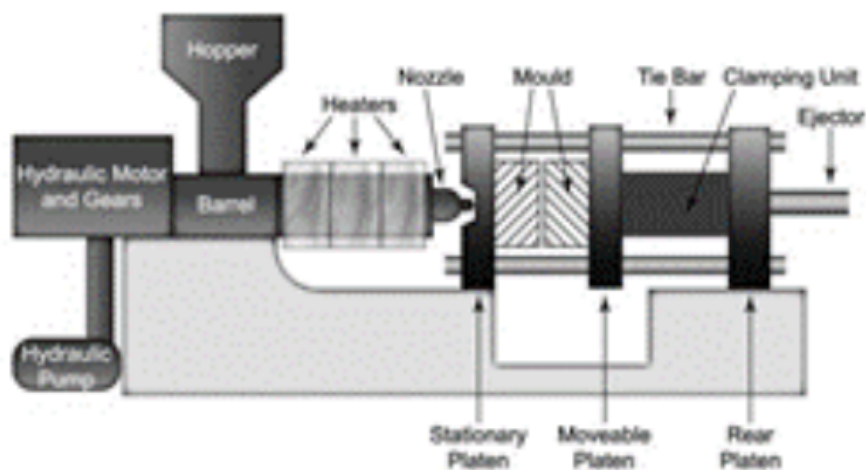
Selain jenis-jenis plastik yang dapat didaur ulang, ada juga jenis lainnya yakni plastik yang relatif kurang ramah lingkungan. Plastik jenis ini digunakan untuk keperluan khusus seperti misalnya yang memerlukan ketahanan terhadap api (*flame retardant*). Plastik jenis ini memiliki komposisi yang tidak ramah lingkungan karena mengandung komponen *Persistent Organic Pollutan* (POP).

F. Proses Pembuatan dan Bahan Baku

Plastik berbahan baku minyak bumi sering kita gunakan melalui beberapa proses pembuatan terlebih dahulu sebelum bisa kita gunakan. Karena jenisnya yang berbeda beda maka cara pembuatannya juga berbeda beda, namun secara umum pembuatan plastik meliputi *injection molding*, *ekstruksi*, *thermoforming* dan *blow molding*.

1. Injection Molding

Injection molding adalah plastik yang masih berupa biji plastik atau pellet dimasukkan ke dalam tabung panas yang kemudian akan meleleh dan lelehan ini yang dibawa ke dalam cetakan.



Gambar 1.11 Mesin Injection Molding

2. Ekstruksi

Proses ekstrusi plastik dimulai dengan penempatan resin ke dalam *hopper ekstruder*. Penambahan aditif tertentu seperti inhibitor UV, anti-oksidan, atau pewarna, juga dilakukan pada tahap ini. Setelah plastik dan aditif masuk ke dalam *hopper*, resin akan dialirkan ke dalam *barrel ekstruder* melalui rongga *hopper*. Di dalam barrel tersebut terdapat *screw* panjang berputar yang memasukkan resin mengarah menuju die.

3. *Thermoforming*

Pada tahap *thermoforming*, biji plastik yang leleh telah berubah menjadi lempengan kemudian dipanaskan kembali dan dimasukkan ke dalam cetakan lainnya.

Proses pelelehan resin berjalan seiring dengan Bergeraknya plastik di dalam barrel. Bergantung pada jenis termoplastik, suhu *barrel* dapat berkisar antara 200 hingga 270 derajat Celcius. Teknik tersebut diberlakukan guna memungkinkan peleburan bertahap dan meminimalkan kemungkinan degradasi plastik.

Setelah plastik cair mencapai ujung barrel, plastik diarahkan untuk dimasukkan ke dalam *feed pipe* yang mengarah ke *die*. Plastik juga akan melewati saringan yang diperkuat oleh pelat pemutus, yang berfungsi untuk menghilangkan kontaminan yang mungkin didapati pada plastik cair.

4. *Blow Molding*

Proses *blow molding* merupakan proses terakhir dalam pembuatan plastic secara umum. Tahapan dalam proses ini adalah :

- a. Biji plastik atau pellet dilelehkan dalam sekrup di dalam lubang yang dilengkapi dengan pemanas secara terus menerus
- b. Plastik panas membentuk pipa
- c. Plastik panas ditiup dalam cetakan
- d. Dibuat barang sesuai dengan yang diinginkan.

Bahan baku pembuatan benda ini adalah biji plastik. Biji plastik biasanya berupa butiran berwarna bening dan berbahan dasar bahan kimia yang bernama *styrin monomer*.

Biji plastik asli berbahan *styrin momomer* biasanya mahal dan masih didapatkan secara impor. Selain biji plastik dari *styrin monomer* ada juga yang

terbuat dari biji plastik daur ulang. Biji plastik daur ulang merupakan hasil daur ulang sampah-sampah plastik yang dicacah sesuai dengan jenisnya (1).

G. Sifat Polimer Konduktif

Sifat polimer konduktif merupakan sifat polimer yang memiliki konduktivitas listrik sebanding dengan konduktivitas logam. Salah satu karakteristik umum polimer konduktif adalah memiliki ikatan *backbone* terkonjugasi karena adanya oksidasi maupun reduksi akibat sifat donor-akseptor elektron.

Keuntungan dari polimer konduktif adalah sebagai berikut:

- a. Merupakan gabungan dari sifat logam dan plastik
- b. Konduktivitas tinggi
- c. Terang/tembus cahaya/transparan
- d. Prosesnya mudah dan tidak rumit
- e. Harganya murah
- f. Sintesisnya bisa dipilih.

H. Industri Plastik

Tahun 1960-an industri plastik merupakan industri yang berkembang pesat di Indonesia. Namun perkembangan industri ini semakin menurun dari waktu ke waktu seiring tantangan yang dihadapi industri ini.

Industri ini sebagai bahan pengemasan menghadapi berbagai persoalan, salah satunya limbah plastik yang tidak dapat diurai dengan mudah oleh mikroorganisme tanah sehingga terjadi penumpukan limbah yang semakin banyak.

Kendala lain adalah limbah jenis ini yang berbahan dasar minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui lagi sehingga keberadaannya semakin menipis. Bahan baku dari plastik yang masih diimport juga menyulitkan perkembangan industri ini.

BAB 2 ENERGI

A. Definisi Energi

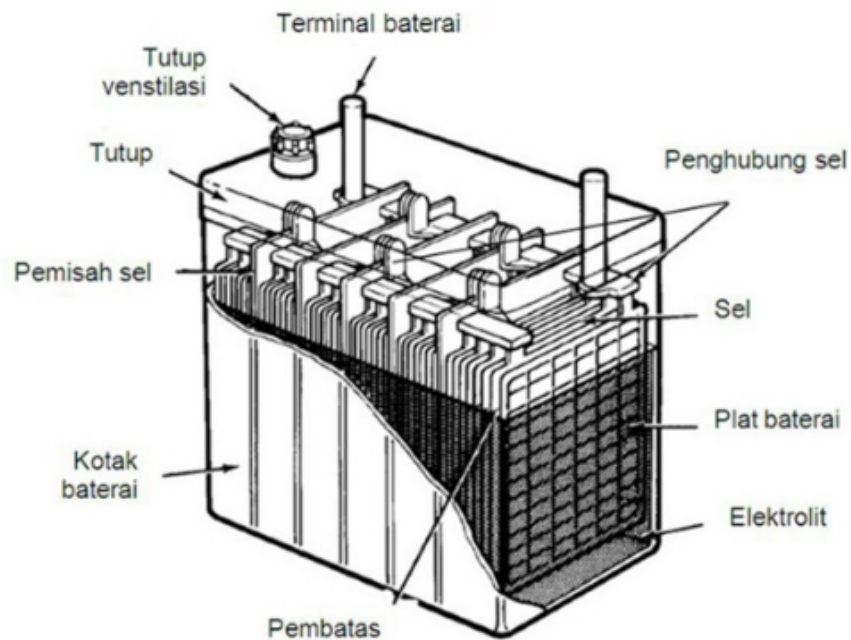
Tidak ada kehidupan dunia ini yang sedemikian penting dan serumit dengan energi. Energi adalah sumber dari kehidupan itu sendiri. Energi walaupun bersifat kekal – (lihat hukum kekekalan energi) – tetapi banyak orang yang memperebutkannya sehingga banyaknya peperangan di muka bumi yang menimbulkan banyak kematian, menghancurkan alam tidak lain adalah demi penguasaan energi dan ironisnya penghancuran itu sendiri juga menggunakan energi.

Semua makhluk hidup membutuhkan energi. Semua alat yang ada di dunia ini juga membutuhkan energi. Tanpa energi tidak akan ada kehidupan di dunia ini karena energi adalah sumber dari kehidupan. Energi merupakan sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi atau *energy* dalam bahasa Inggris berarti adalah sebuah kegiatan atau aktifitas. Kata ini berasal dari bahasa Yunani “*energia*” terdiri dari dua kata *en* yang berarti dalam dan *ergon* jika diterjemahkan sebagai kerja. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja (*energy is the capability for doing work*).

Dalam kehidupan sehari-hari secara umum energi dapat dikategorikan menjadi beberapa macam bentuk diantaranya energi termal, energi kimia, energi listrik, energi nuklir, energi kinetik, energi cahaya, energi bunyi, dan energi potensial.

1. Energi termal atau energi panas merupakan bentuk energi dasar, yaitu semua energi yang dapat dikonversi secara penuh menjadi energi panas. Energi jenis ini dihasilkan dari gerakan – gerakan partikel penyusun benda. Contoh dari energi jenis ini adalah setrika listrik, solder listrik, heater dan sebagainya.
2. Energi kimia merupakan energi yang keluar dari sebuah reaksi kimia sebagai hasil interaksi elektron dimana dua atau lebih atom / molekul

berkombinasi sehingga menghasilkan senyawa kimia yang stabil. Energi kimia hanya dapat terjadi dalam bentuk energi tersimpan. Contoh dari energi jenis ini adalah baterai, aki (*accu*), bahan bakar minyak, kayu bakar dan sebagainya.



Gambar 2.1 Aki (Accu) untuk Menyimpan Energi Listrik

(Sumber: <https://www.otospeedcar.com>)

3. Energi listrik adalah energi yang ditimbulkan karena adanya aliran arus listrik. Contoh dari energi jenis ini adalah listrik untuk lampu penerangan, listrik untuk menghidupkan peralatan rumah tangga seperti kulkas, setrika dan lain sebagainya
4. Energi nuklir dihasilkan melalui dua macam mekanisme, yaitu 5pembelahan inti atau reaksi fisi dan penggabungan beberapa inti melalui reaksi fusi. Contoh dari energi ini adalah ledakan bom nuklir, pemanfaatan menjadi pembangkit listrik tenaga nuklir, menggerakkan kapal dan lain sebagainya.
5. Energi mekanik sama dengan energi potensial, ketika ada sebuah benda terjatuh dari sebuah ketinggian⁶⁷ maka energi mekaniknya sama dengan energi kinetiknya. **Besarnya energi mekanik merupakan penjumlahan antara besarnya energi kinetik dengan energi potensial.**

64

- a. Energi kinetik atau energi gerak adalah energi yang dimiliki oleh sebuah benda karena gerakannya. Energi kinetik sebuah benda didefinisikan sebagai usaha yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah benda dengan massa tertentu dari keadaan diam hingga mencapai kecepatan tertentu.

Secara umum energi kinetik dituliskan dalam sebuah rumus sebagai berikut:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \dots\dots\dots (1)$$

68

Dengan

E_k = energi kinetik

m = massa

v = *velocity* atau kecepatan benda

37

- b. Energi potensial adalah energi yang terjadi sebagai kaitannya dengan kedudukan benda terhadap bumi. Energi ini yang memengaruhi benda karena posisi benda tersebut yang mana kecenderungan tersebut menuju tak terhingga dengan arah dari gaya yang ditimbulkan dari energi potensial tersebut. Sebagai contoh apabila sebuah benda dijatuhkan dari sebuah ketinggian maka semakin tinggi kedudukan benda tersebut dari muka bumi maka akan semakin besar potensi energi yang dihasilkan.

Sama dengan energi kinetik, secara umum energi potensial dirumuskan sebagai berikut:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (2)$$

Dengan

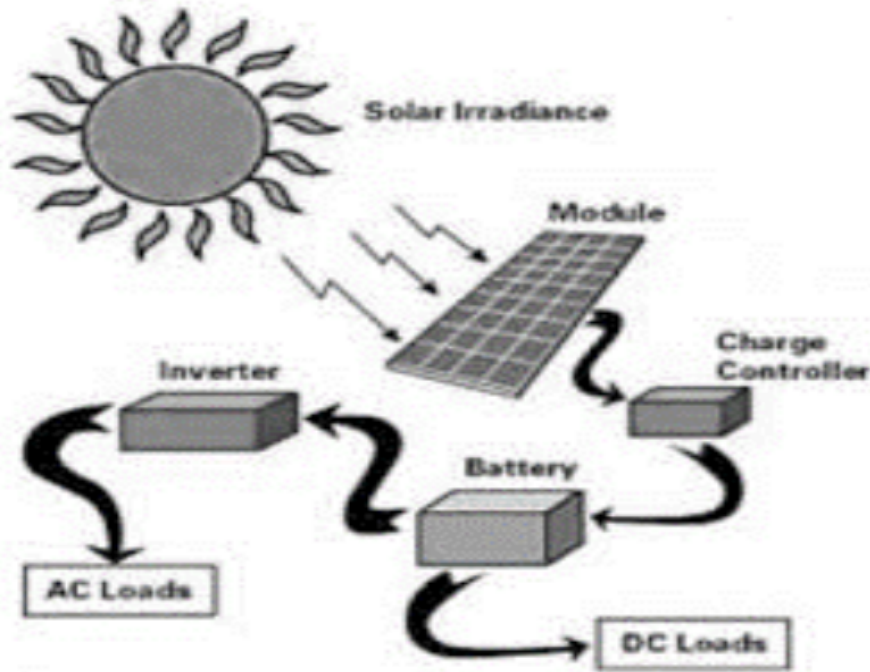
E_p = energi potensial

m = massa

g = percepatan gravitasi bumi

h = ketinggian benda

- 6. Energi cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Contoh dari energi cahaya diantaranya cahaya lampu, nyala api lilin, obor dan sebagainya.



Gambar 2.2 Energi Cahaya Matahari yang Ditangkap Solar Sel dan Diubah Menjadi Energi Listrik untuk Digunakan Berbagai Keperluan

(Sumber: Kompasiana.com)

7. Energi bunyi yang dalam fisika merupakan **31**ah satu bentuk energi. Bunyi dihasilkan dari benda yang bergetar. Bunyi merupakan sebuah gelombang mekanik dan ter**31**i dari osilasi kompresi elastis dan osilasi perpindahan fluida. Oleh karena itu, medium transmisi berperan sebagai penyimpanan untuk energi potensial dan energi kinetik. Contoh dari energi bunyi adalah ketika terjadi guntur, suaranya bisa menggetarkan kaca jendela tetapi suara itu belum mampu menggetarkan rumah secara keseluruhan.
8. Energi pegas adalah energi yang dimiliki oleh semua benda yang elastis atau lentur. Jika sebuah benda elastis digulung atau diregang**54**, maka ketika dilepaskan akan kembali ke bentuk semula. Ketika benda tersebut diberi gaya maka benda memiliki energi potensial. Ketika gaya dilepaskan maka energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik.

B. Perubahan Bentuk Energi

Dalam hukum kekekalan energi dinyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan juga tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah atau

di transfer dari suatu bentuk ke bentuk yang lainnya. Émilie du Châtelet adalah yang pertama kali menguji hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi total sistem yang terisolasi tetap konstan; itu dikatakan akan dilestarikan dari waktu ke waktu. Pada umumnya, manfaat energi akan terlihat setelah berubah bentuk menjadi energi lain. Misalnya energi listrik akan bermanfaat ketika berubah bentuk menjadi energi cahaya atau panas, contoh dari perubahan bentuk energi dapat ditulis sebagai berikut:

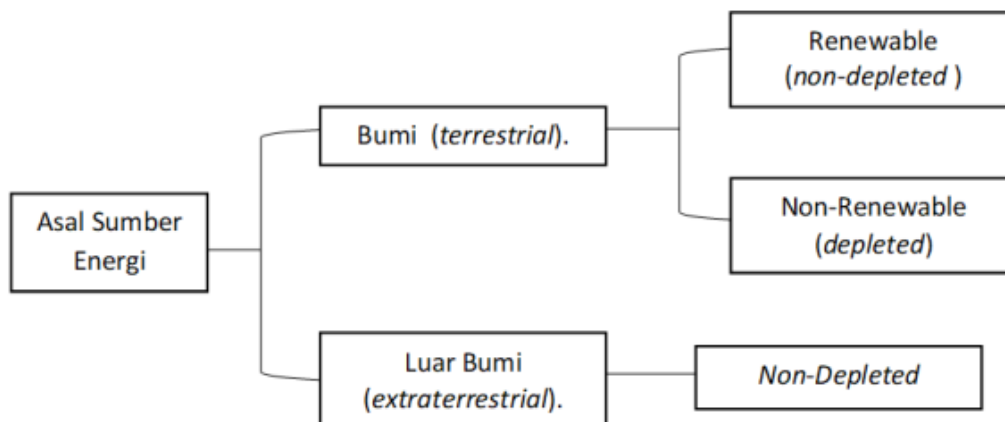


Gambar 2.3 Contoh Bentuk Perubahan Energi

Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa energi fusi nuklir melalui reaktor nuklir bisa menjadi listrik PLTN yang menyalurkannya ke rumah-rumah penduduk dan industri untuk diubah menjadi energi cahaya berupa lampu-lampu maupun energi panas atau kalor berupa kompor listrik sampai tanur peleburan logam serta energi lainnya.

C. Sumber-sumber Energi

Sumber energi adalah segala sesuatu di sekitar kita yang mampu menghasilkan suatu energi baik yang kecil maupun besar. Ada berbagai macam sumber energi, berdasarkan sumbernya, energi dapat dibedakan menjadi energi yang berasal dari bumi (*terrestrial*) dan yang berasal dari luar bumi (*extraterrestrial*).



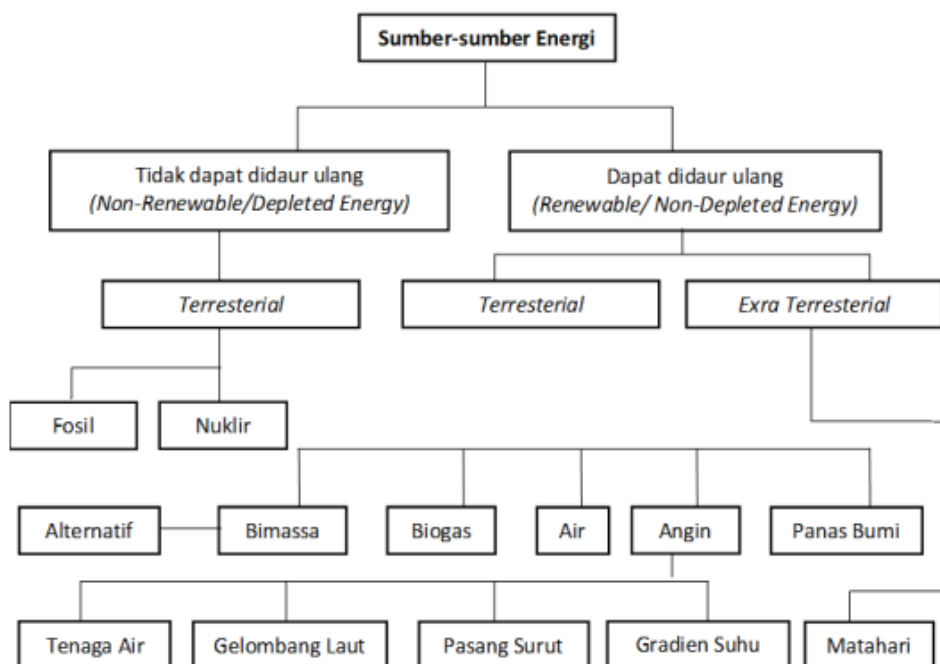
Gambar 2.4 Klasifikasi Sumber Energi

Sumber energi yang berasal dari bumi dikategorikan menjadi dua jenis yakni:

1. Jenis *renewable* atau *non-depleted energy* merupakan energi terbarukan

yang berasal dari sumber-sumber alamiah. Beberapa sumber energi terbarukan (*Renewable Energy Resources*) yang potensial dan ketersediaanya berlimpah di Indonesia antara lain: angin, geothermal, hydropower, surya, biomassa (biogas, biofuel padat dan biofuel cair).

2. Jenis *non-renewable* atau *depleted energy* didefinisikan sebagai sumber energi yang tidak dapat diisi atau dibuat kembali oleh alam dalam waktu yang singkat. Sumber energi yang tak dapat diperbaharui diantaranya adalah minyak bumi (mineral), batu bara, gas alam dan nuklir.



Gambar 2.5 Diagram Klasifikasi Sumber Energi Berdasarkan Sifat

D. Sumber Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari “proses alam yang berkelanjutan”, seperti tenaga surya, tenaga angin, arus air, proses biologi, dan panas bumi. Sumber energi terbarukan segera dapat diisi kembali oleh alam. Berikut sumber energi terbarukan:

1. Angin

Angin tergolong sumber energi terbarukan yang paling berlimpah di dunia. Potensi besaran energi yang dihasilkan dari sebuah turbin angin tergantung pada diameter turbin dan kecepatan angin. Turbin angin biasanya

dipasang diatas menara yang yang ditempatkan di sepanjang pantai atau puncak bukit.



Gambar 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin)

(Sumber: <https://petroenergy.id/>)

2. Geothermal

Geothermal merupakan energi yang diperoleh dari panas bumi. Panas tersebut berasal dari dalam bumi dan menembus serta menyebar di seluruh muka bumi. Dalam kenyataannya hanya terdapat beberapa lokasi saja terdapat panas yang cukup terkonsentrasi dan ekonomis untuk dieksploitasi.



Gambar 2.7 Geothermal Dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik

(Sumber: <https://www.liputan6.com/>)

3. Hydropower

Hydropower adalah energi yang berasal dari air antara lain aliran air, air terjun dan pasang surut air laut. Hydropower merupakan sumber energi terbarukan yang sangat banyak tersedia di Indonesia.



Gambar 2.8 Hydropower Sumber Energi Terbarukan yang Banyak Terdapat Di Indonesia

(Sumber: <https://indonesiare.co.id/>)

4. Surya

Energi surya ini adalah merupakan energi murah dan sangat melimpah di Indonesia karena Indonesia terletak di garis khatulistiwa. Energi surya adalah energi yang dihasilkan dari matahari dalam bentuk radiasi matahari. Teknologi yang digunakan untuk memanfaatkan energi surya antara lain *photovoltaic*, *solar thermal*, *solar collectors* dan *solar thermal power*.

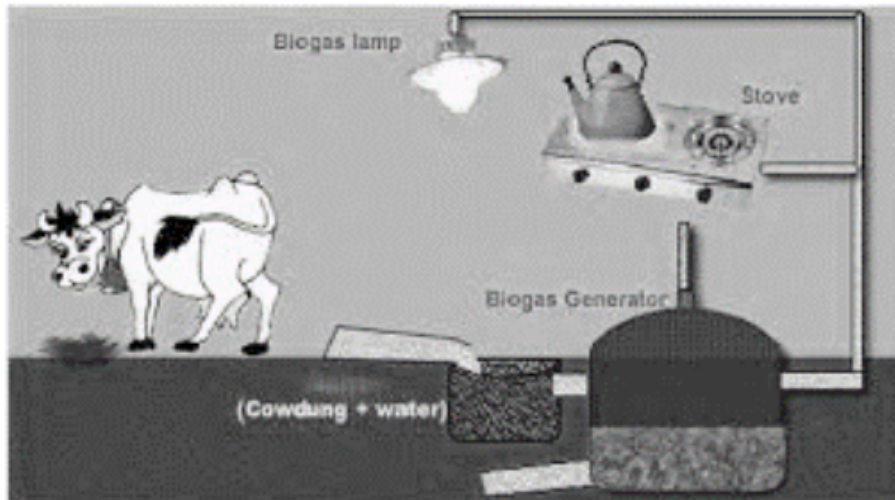


Gambar 2.9 Solar Sel Menangkap Radiasi Matahari Dijadikan Listrik

(Sumber: <https://www.kataeca.com/>)

5. Biomassa

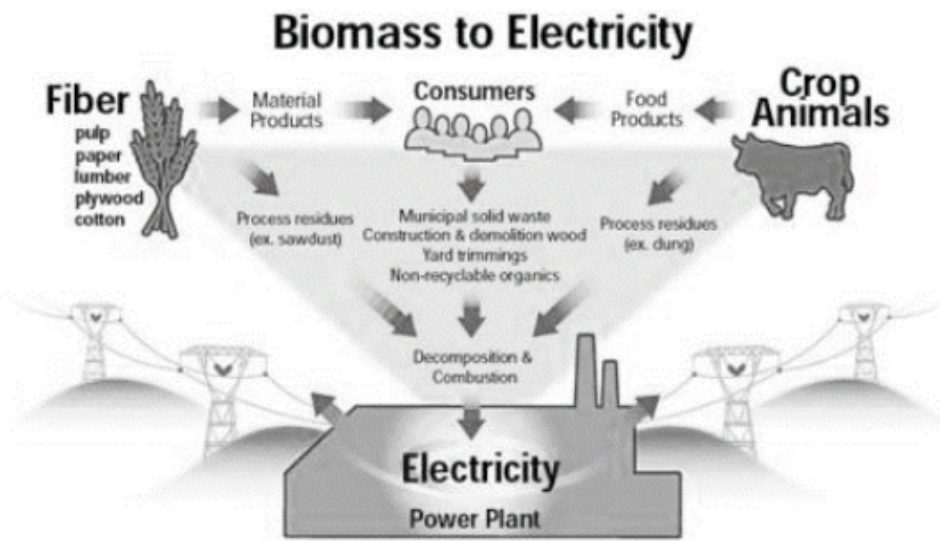
Biomassa atau dikenal dengan bionergi adalah salah satu bentuk energi yang paling dikenal dalam penggunaan energi terbarukan. Bioenergi pada dasarnya adalah energi yang dihasilkan dari biomassa. Masalah bioenergi mendapat perhatian yang banyak pihak karena berkaitan erat dengan masalah-masalah lingkungan seperti pemanasan global, emisi gas CO₂, label energi hijau dan sebagainya. Yang termasuk kedalam bioenergi antara lain:



Gambar 2.10 Pemanfaatan Biogas Rumah Tangga Pedesaan

(Sumber: pustakapengetahuan.com)

- Biogas yang merupakan hasil dekomposisi bahan-bahan organik dalam bentuk gas, biasanya berupa gas metan dan karbondioksida.
- biofuel cair berupa biodiesel yang merupakan senyawa monoalkilester (metil ester) yang dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi trigeliserida dengan metanol. Juga bioetanol merupakan etanol yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme.
- biofuel padat yang merupakan merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari organisma hidup. Biofuel padat dibedakan dari *Solid Fossil Fuels* yang juga berasal dari organisma hidup namun tidak terbarukan. Termasuk kedalam jenis biofuel padat antara lain kayu, sampah organik dan bioarang.



Gambar 2.11 Gambar Ilustrasi Biomasa yang Dapat Dijadikan Pembangkit Listrik.

(Sumber: <https://www.kompasiana.com/>)

E. Sumber Energi Tidak Terbarukan

Energi tidak terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Energi ini dikatakan tidak terbarukan karena, apabila sumber daya tersebut sudah digunakan, akan memerlukan. Contoh dari sumber energi tidak terbarukan yang sangat dikenal, yaitu bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi.

- a. Minyak bumi, saat ini menjadi sumber energi utama di dunia untuk berbagai keperluan. Minyak bumi adalah hasil dari peruraian (dekomposisi) materi tumbuhan dan hewan di suatu daerah yang subsidence (turun) secara perlahan. Menurut Teori Anorganik, disebutkan bahwa minyak bumi terbentuk akibat aktivitas bakteri. Unsur-unsur oksigen, belerang, dan nitrogen dari zat-zat organik yang terkubur akibat adanya aktivitas bakteri berubah menjadi zat seperti minyak yang berisi hidrokarbon
- b. Batu bara, adalah salah satu bahan bakar fosil yang juga banyak digunakan utamanya sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan nitrogen

dan oksigen. Proses pembentukan batubara terdiri dari dua tahap yaitu tahap biokimia (penggambutan) dan tahap geokimia (pembatubaraan). Tahap penggambutan (peatification) adalah tahap dimana sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi bebas oksigen (anaerobik) di daerah rawa dengan sistem pengeringan yang buruk dan selalu tergenang air. Material tumbuhan yang busuk ini melepaskan unsur H, N, O, dan C dalam bentuk senyawa CO_2 , H_2O , dan NH_3 untuk menjadi humus. Selanjutnya oleh bakteri anaerobik dan fungi diubah menjadi gambut. Tahap pembatubaraan (*coalification*) merupakan gabungan proses biologi, kimia, dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan, dan waktu terhadap komponen organik dari gambut. Pada tahap ini prosentase karbon akan meningkat, sedangkan prosentase hidrogen dan oksigen akan berkurang. Proses ini akan menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat kematangan material organiknya mulai dari lignit, sub bituminus, bituminus, semi antrasit, antrasit, hingga meta antrasit.



Gambar 2.12. Pemanfaatan Batu Bara sebagai Pembangkit Listrik

(Sumber: <https://www.idxchannel.com>)

- c. Gas alam, sering juga disebut sebagai gas bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana (CH_4). Ia dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas bumi dan juga tambang ⁵³ bara. Gas alam biasanya terbentuk bersama minyak bumi. Keduanya berasal dari tumbuhan dan hewan yang mati jutaan tahun lalu. Bangkai atau fosilnya terendap di bawah tanah dan membentuk lapisan-lapisan. Tekanan dan panas ²⁴ bawah tanah mengubah bangkai itu menjadi gas dan minyak. Gas alam digunakan antara lain sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Gas/Uap, bahan bakar industri ringan, menengah dan berat, bahan bakar kendaraan bermotor (BBG/ NGV), sebagai gas kota untuk kebutuhan rumah tangga hotel, restoran dan sebagainya.



Gambar 2.13 Penambangan Gas Alam

(Sumber: <http://eksplorasi.id>)

- d. Nuklir, sebuah nama yang menyeramkan dan sering dihubungkan dengan senjata pemusnah massal. Secara umum nuklir adalah tenaga dalam bentuk apapun yang dibebaskan dalam proses transformasi inti, termasuk tenaga yang berasal dari sumber radiasi pengion. Istilah nuklir berasal dari nucleus atau inti atom, sehingga energi

nuklir merupakan energi yang diperoleh dari inti atom. Terdapat dua jenis reaksi nuklir yang diperlukan untuk melepaskan energi ini yakni reaksi fisi atau reaksi pembelahan inti dan reaksi fusi. Reaksi inti inilah yang banyak dipergunakan di reaktor nuklir atau bahkan bom atom. Sedangkan reaksi kedua, adalah reaksi fusi atau reaksi penggabungan dua inti atom menjadi satu inti atom yang lebih berat. Reaksi ini terjadi secara alamiah di matahari. Manfaat teknologi nuklir sangat banyak antara lain di bidang kedokteran, bidang pertanian sampai pengawetan makanan. Hanya saja teknologi nuklir sangat rawan disalah gunakan apalagi sampai dijadikan senjata pemusnah massal sehingga ada aturan internasional untuk mencegah penyebaran senjata nuklir.



Gambar 2.14 Reaktor Nuklir

(Sumber: <http://www.apbi-icma.org>)

F. Konversi Energi

Energi yang ada di dunia ini asal dan bentuknya beragam ada energi angin, energi fosil, energi air, energi surya dan bentuk energi lainnya. Hal ini dikarenakan energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Pada dasarnya energi adalah daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan. Energi juga dapat diartikan sebagai tenaga. Dalam fisika, energi adalah properti fisika dari suatu objek, dapat berpindah melalui interaksi fundamental, yang dapat diubah bentuknya namun tak dapat diciptakan maupun dimusnahkan..

Salah satu contoh konversi energi adalah perubahan energi listrik menjadi energi gerak dan sebaliknya energi gerak diubah menjadi energi listrik. Energi potensial air terjun diubah menjadi energi gerak yang menggerakkan turbin dinamo sehingga menghasilkan listrik. Listrik dapat di simpan dalam baterai sehingga dapat menggerakkan motor listrik yang menjalankan mobil, mesin-mesin industri, menyalakan lampu dan seterusnya.

Dari beberapa contoh di atas kita dapat melihat bahwa pada situasi tertentu energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain, tetapi energi totalnya tetap dan dengan kata lain bahwa energi itu kekal. Fakta ini dikenal dengan hukum alam yang dinamakan dengan hukum kekekalan energi. Hukum ini menyatakan bahwa “Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi energi hanya dapat di ubah dari satu bentuk ke bentuk lain”.

$$E_k + E_p = E_M = \text{Tetap} \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} \dots\dots\dots (4)$$

Prinsip konversi energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan yaitu ketika berada dalam sistem terisolasi. Energi total sebelum transformasi sama dengan transformasi energi total. Energi tidak pernah habis, tetapi akan berubah bentuk menjadi energi lain. Beberapa contoh perubahan atau transformasi energi diantaranya:

- a) Energi potensial gravitasi menjadi energi listrik contohnya adalah gerakan aliran air terjun yang memutar generator turbin sehingga menghasilkan listrik yang dialirkan dke rumah-rumah dan industri
- b) Energi listrik menjadi energi cahaya seperti bola lampu yang menyala ketika dialiri listrik.
- c) Energi listrik menjadi energi panas seperti kompor listrik, *rice cooker*, setrika dll.
- d) Energi listrik menjadi energi gerak seperti yang terjadi pada dinamo kipas angin, bor listrik yang bergerak berputar.
- e) Energi listrik menjadi energi bunyi seperti radio, televisi, telepon.
- f) Energi kimia menjadi energi listrik seperti baterai. Baterai menghasilkan arus listrik, arus listrik digunakan untuk menyalakan lampu.
- g) Energi cahaya menjadi energi listrik pada fotovoltaiik sebuah alat yang mampu mengubah secara langsung energi sinar matahari menjadi energi listrik.

- h) Energi gerak menjadi energi panas. Contohnya seseorang akan merasa panas jika banyak bergerak. Demikian juga halnya komponen mesin yang bergerak sehingga menimbulkan gesekan akan menimbulkan panas.
- i) Energi cahaya menjadi kimia contohnya adalah proses fotosintesis tanaman yang mengubah cahaya matahari menjadi energi kimia.
- j) Energi angin menjadi energi listrik dalam Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin).
- k) Energi kimia menjadi energi panas salah satunya pada pirolisis limbah kantong plastik. Saat limbah kantong plastik meleleh dan menguap, disini terjadi perubahan energi kimia (limbah kantong plastik) menjadi energi panas (uap dari lelehan limbah kantong plastik yang dipanaskan) yang selanjutnya akan terkondensasi menjadi bahan bakar minyak.

Hukum pertama secara esensial adalah prinsip hukum kekekalan energi yang memasukkan kalor sebagai model perpindahan energi. Menurut hukum pertama, energi dalam suatu benda dapat ditingkatkan dengan menambah kalor atau melakukan usaha. Hukum pertama ini tidak membatasi arah perpindahan kalor yang terjadi. Hukum kedua termodinamika tentang aliran kalor memiliki arah bahwa tidak semua aliran kalor bersifat reversibel (bolak balik). Contoh dari hukum kedua termodinamika ini adalah pada proses pirolisis tadi dimana kalor yang kita berikan untuk mengubah kantong plastik menjadi uap sebelum akhirnya terkondensasi ternyata tidak bisa kita ambil kembali.

BAB 3 KEBERADAAN SAMPAH DAN LIMBAH PLASTIK DI LINGKUNGAN

A. Keberadaan Sampah

Pada hakikatnya sampah atau biasa kita sebut dengan nama limbah. Apapun namanya limbah domestik tetaplah masalah, bahkan bagi si pembuat sampah. Bank Dunia melaporkan pada pertengahan September 2019, yang melansir dari data mengenai produksi sampah global, menyebutkan bahwa setidaknya terdapat 2.01 miliar ton sampah yang menumpuk di dunia ini pada 2016.

Jumlah tersebut terus meningkat dan pada 2050 mendatang jumlah sampah akan mencapai 3.4 miliar ton, jumlah tersebut menimbang dari laju pertumbuhan penduduk dunia yang mencapai angka 70 persen.

Sistem daur ulang bisa saja diterapkan, namun sayangnya hal tersebut baru bisa berlaku di negara-negara maju. Sementara di negara berkembang kebanyakan masih mengalami kesulitan dalam menangani masalah sampah ini, sebab mengelola sampah berarti harus menggelontorkan dana 20 hingga 50 persen dari total keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan sebuah negara.

Dilansir dari laman indonesia.go.id, lembaga berwenang atas “penghasilan sampah” Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atau KLHK dengan lapang dada mengakui pada 2020 total sampah nasional mencapai angka 67,8 juta ton. Itu berarti 270 juta penduduk Indonesia per harinya menghasilkan sekitar 185.753 ton sampah, atau 0,68 kilogram per individunya.

Dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, angka tersebut mengalami peningkatan. Pada 2018, produksi sampah nasional mencapai 64 juta ton dari 167 juta penduduknya dan menjadi bagian dari sampah-sampah yang menggunung di timbunan tempat-tempat pembuangan akhir.

Kepala Sub Direktorat Barang dan Kemasan, Direktorat Pengelolaan Sampah KLHK Ujang Solihin Sidik mengaku bahwa pengelolaan sampah di Indonesia belum optimal. Menurutnya, dari 514 kabupaten atau kota yang ada di Indonesia, kapasitas pengelolaan sampahnya rata-rata masih di bawah 50 persen. Sementara di kota-kota besar, pengelolaan sampahnya sudah mencapai 70 hingga 80 persen. Pengelolaan sampah ini masih menggunakan pola lama.

Pola lama tersebut yakni menggunakan pola linier kumpul-angkut-buang, padahal pola tersebut sudah ketinggalan zaman, padahal di negara-negara maju lainnya sudah mengadopsi pola ekonomi sirkular, daur ulang sampah dengan memanfaatkan nilai ekonomi sampah termasuk sampah plastik secara maksimal dari menerapkan *reduce, reuse, recycle* atau 3R (3).

Metode 3R atau *Reuse, Reduce, dan Recycle* merupakan salah satu cara terbaik dalam mengelola dan menangani sampah plastik dengan berbagai jenisnya. Penerapan sistem ini juga sangat baik untuk mengelola sampah dari berbagai jenis plastik dari yang aman hingga beracun.

Pengelolaan sampah dengan sistem 3R mampu dilakukan oleh hampir semua orang serta tidak jarang hal-hal yang diproduksi mampu menghasilkan nilai ekonomis. Dilansir dari laman Waste4Change, *Reduce, Reuse, dan Recycle* merupakan konsep dan urutan langkah untuk mengelola sampah dengan baik.

1. *Reduce*

Reduce sendiri memiliki arti mengurangi sampah. Maksud dari langkah ini adalah mengurangi penggunaan produk yang nantinya berpotensi menjadi sampah. Langkah ini bisa dilakukan dan diterapkan untuk sampah atau produk sekali pakai, seperti kantong plastik belanja yang sudah dilarang di berbagai lokasi seperti DKI Jakarta. Produk yang jadi target utama untuk *reduce* adalah produk berbahan plastik.

Tahap ini juga menjadi yang pertama sekaligus prioritas karena bila pengurangan produk sampah sekali pakai, maka tidak perlu ke tahap berikutnya yaitu *reuse* dan *recycle*. Penggunaan barang yang sulit didaur ulang juga akan menjadi masalah baru, maka tidak heran bila *reduce* sangat digadang-gadang sebagai langkah awal yang tepat.

Contoh dari penerapan langkah *reduce* adalah membawa botol minum atau alat makan sendiri sehingga tidak perlu menggunakan berbagai alat makan dan minum sekali pakai.

2. Reuse

Langkah atau tahap kedua adalah Reuse yang berarti menggunakan kembali. Tahap ini mengajak untuk menggunakan kembali produk yang sudah terpakai. Dengan menggunakannya kembali maka sampah yang timbul dari produk-produk tersebut dapat berkurang.

Salah satu cara atau langkahnya adalah penggunaan botol bekas air minum sebagai pot tanaman kecil. Atau penggunaan kaleng biskuit hingga makanan ringan (snack) sebagai kotak penyimpanan di rumah. Langkah lain dari reuse adalah menggunakan botol sabun mandi atau shampoo dan mengisinya dengan membeli produk isi ulang. Dengan metode reuse, tentu penyebaran sampah plastik yang sudah dibeli dapat dikurangi dan dimanfaatkan kembali seperti sedia kala.

3. Recycle

Tahap terakhir dari konsep 3R adalah *Recycle* yang berarti mendaur ulang. Langkah ini paling banyak dilakukan mengingat sudah banyaknya sampah yang tersebar di berbagai lokasi seperti laut, tanah, dan udara.

Produk bekas atau daur ulang sendiri sebenarnya lebih fleksibel, bahkan kerap memiliki nilai ekonomis. Pemanfaatan sampah yang tidak terpakai hingga memiliki nilai tanpa mencemari lingkungan mampu mengurangi penyebaran sampah plastik secara drastis.

Adapun produk yang didaur ulang memiliki desain yang unik dan sangat berbeda dengan jenis produk baru, bahkan beberapa pihak membuat aksesoris dari alat daur ulang yang dapat bermanfaat untuk mendongkrak ekonomi lingkungan sekitar seperti lingkungan RT atau RW.

B. Pengertian Sampah

Setiap aktivitas manusia pasti menghasilkan buangan atau sampah. Ini adalah merupakan hasil sampingan dari aktivitas manusia yang sudah terpakai. Jumlah atau volume sampah sebanding dengan tingkat konsumsi terhadap barang atau material yang digunakan sehari-hari.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah merupakan bahan padat buangan dari kegiatan rumah tangga, pasar, perkantoran, penginapan/ hotel, rumah makan, industri dan lain-lain.

C. Jenis – Jenis Sampah

Sampah dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu :

1. Sampah organik atau basah

Dikatakan sebagai sampah basah adalah karena sampah jenis ini mempunyai sifat berair atau basah. Sampah jenis ini adalah sampah yang berasal dari bahan-bahan organik atau makhluk hidup, seperti daun-daunan, sampah dapur, sisa sayuran dan buah. Sampah jenis ini dapat terdekomposisi atau membusuk dan hancur secara alami.

2. Sampah anorganik atau kering

Sampah kering adalah sampah yang berasal dari bahan anorganik, sulit dan bahkan tidak dapat terdegradasi secara alami. Contoh dari sampah ini adalah berbagai jenis logam, kaca, karet, plastik dan lain-lain.

3. Sampah berbahaya dan beracun

Sampah jenis ini berbahaya bagi manusia karena sifatnya merusak jika berinteraksi dengannya. Contoh dari sampah ini yang paling ekstrem adalah limbah nuklir dan kimia yang menyebabkan manusia atau hewan menjadi sakit bahkan mati bila terpapar dalam batas-batas tertentu. Selain itu masih banyak limbah berbahaya lainnya yang sebenarnya banyak digunakan dalam kegiatan manusia sehari-hari seperti limbah baterai, limbah medis, limbah pabrik jenis tertentu dan lainnya. Sampah jenis ini memerlukan penanganan khusus.

D. Keberadaan Sampah/Limbah Plastik

Plastik sudah benar-benar menjadi masalah dunia. Ini dikarenakan plastik saat ini menjadi alat utama dalam kehidupan sehari-hari mulai dari pembungkus makanan ringan, wadah berbagai macam keperluan, suku cadang (*spare parts*) berbagai macam produk industri hingga alat konstruksi berat. Akibatnya tidak mengherankan bila kota-kota besar di dunia menghasilkan sampah plastik hingga 1,3 miliar ton setiap tahunnya.

Data World Bank memperkirakan bahwa jumlah ini akan terus bertambah hingga 2,2 miliar ton pada tahun 2025 mendatang. Sedangkan di angka rata-rata, masyarakat Eropa Barat dan Amerika Utara menggunakan sekitar 100 kilogram plastik di setiap tahunnya dan Sebagian besar merupakan kemasan plastik sekali pakai. Sementara masyarakat Asia menggunakan hingga 20 kilogram per orang.



Gambar 3.1 Timbunan Sampah Plastik

(<https://m.lampost.co/berita-kendalikan-sampah-plastik.html>)

Sangat disayangkan, 22% hingga 43% plastik yang digunakan di seluruh dunia berakhir di Tempat Pembuangan Sampah (TPS). Berarti biaya pembangunan TPS yang harusnya bisa dimanfaatkan untuk hal yang lebih bermanfaat namun harus habis untuk menumpuk sejumlah sampah plastik.

Kondisi sampah plastik di Indonesia sendiri tidak jauh berbeda. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Sebanyak 3,2 ton merupakan sampah plastik yang terbuang ke laut.

Di sisi lain, kantong plastik yang terbuang ke lingkungan sebanyak 10 miliar lembar per tahun atau sebanyak 85.000 ton kantong plastik. Jumlah ini menempatkan Indonesia di urutan kedua sebagai negara dengan jumlah pencemaran sampah plastik ke laut terbesar setelah Tiongkok. Maka tidak heran sampah plastik di Indonesia kian penting mengingat Indonesia merupakan negara terpadat urutan ke empat di dunia setelah Amerika Serikat, Tiongkok dan India.



Gambar 3.2 Bahaya Sampah Plastik Terhadap Lingkungan

(<https://infobekasi.co.id/2016/02/09/air-kali-meluap-karena-timbunan-sampah-tewaskan-satu-orang-pria/>)

Pada dasarnya sampah plastik merupakan limbah yang memang pada dasarnya memiliki dampak yang merugikan bila tidak ditangani secara bijak. Bila melakukan pendekatan 3R, tentu sampah plastik bisa bernilai ekonomis namun membutuhkan usaha ekstra untuk mengedukasi sekaligus menggerakkan roda daur ulang sampah plastik yang tepat dan cepat.

Sampah plastik yang tidak terorganisir menyebar ke segala tempat, termasuk laut hingga merusak ekosistem beberapa flora dan fauna. Rantai makanan menjadi salah satu hal yang rusak, apalagi dengan pencemaran plastik yang merusak kondisi plankton sebagai organisme terkecil di dunia.

Plankton sendiri merupakan sumber makanan ikan-ikan kecil, bila penyebaran sampah plastik tersebar dan terurai maka akan menimbulkan kondisi mikroplastik yang turut dikonsumsi oleh ikan. Kondisi ini membuat ikan yang hendak dikonsumsi oleh manusia memiliki kandungan berbahaya yaitu mikroplastik. Selain hewan kecil, ikan besar juga berpotensi mengonsumsi makanan yang tercemar polutan sampah plastik.

Tidak sampai di situ, data dari *National Oceanographic* dan *Atmospheric Administration* menyebutkan bahwa jutaan burung dan ikan hingga 100.000 mamalia meninggal akibat penyebaran sampah plastik di beberapa lingkungan.

Pengelolaan sampah yang kurang baik menjadi penyebab utama penyebaran sampah plastik dan pada akhirnya merusak habitat bagi ribuan spesies hewan dan tumbuhan. Selain hewan dan tumbuhan, sampah plastik yang tidak terorganisir akan mencemari tanah dan air tanah.

Menggunungnya sampah plastik dengan tingkat produksinya yang kian tinggi setiap tahun menjadi masalah bersama. Adapula beberapa dampak sampah plastik yang merugikan adalah sebagai berikut :

1. Sampah Plastik Jadi Masalah Global

Sejak akhir abad ke-20, produksi plastik memang sangat tinggi mengingat beberapa kelebihan yang ditawarkan seperti harga yang terjangkau, fleksibel, dan juga memiliki daya tahan yang tinggi. Meskipun demikian, material atau bahan plastik yang mudah tersebut membutuhkan bertahun-tahun untuk dapat terurai. Bahkan, beberapa plastik puluhan tahun lalu masih tersisa di beberapa Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Dengan waktu urai yang sangat lama faktanya proses atau jumlah produksi tidak berkurang sama sekali dan bahkan seakan menjadi gaya hidup perkotaan untuk menggunakan alat berbahan plastik.

2. Sampah Plastik Sebagai Polutan Laut

Sampah plastik yang menyerang level global juga menjadi masalah untuk laut sebagai sumber penghasilan sekaligus kehidupan. Pasalnya, sampah yang tidak terjaring dan lolos dari proses seleksi akan mengalir ke laut.

Beberapa negara berkembang menyumbang angka yang cukup tinggi dari jumlah sampah plastik yang gagal tersortir hingga akhirnya berakhir di laut. Beberapa alasan utama adalah minimnya rasa kepedulian terhadap gaya hidup yang bersih.

Sampah yang berakhir di laut juga dimulai dari rasa acuh untuk membuang sampah melalui selokan, aliran sungai, atau danau yang akhirnya mengalir hingga ke laut. Volume sampah plastik yang merusak laut akan mengurangi beberapa hal seperti tercemarnya laut dan klasifikasi sampah plastik sebagai polutan tingkat tinggi.



22

Gambar 3.3 Polutan Sampah Plastik di Laut

(<https://www.voaindonesia.com/a/sampah-masih-jadi-predator-biota-laut/5454013.html>)

3. Sampah Plastik Merusak Ekosistem

Selain dari laut, tentu banyak hal yang rusak dari ekosistem dunia. Tatanan hidup yang teratur perlahan akan sirna seiring tingginya proses pembuangan sampah laut. Banyak yang cukup acuh terhadap ekosistem yang bersih seperti menjaga kebersihan lingkungan termasuk dengan hutan, laut, dan bagian lainnya.

Sampah plastik memang merusak ekosistem terlihat dengan berubahnya beberapa sungai yang dipenuhi dengan limbah industri maupun rumah tangga. Hewan yang biasa menghiasi sawah atau danau juga perlahan hilang dengan kurang teraturnya cara pembuangan sampah plastik.

4. Dampak Plastik Terhadap Hewan Laut

Ketika membahas ekosistem tentu membicarakan seluruh bagian atau seisinya. Laut sendiri memiliki banyak biota atau hewan laut yang sangat penting dalam menjaga ekosistem tetap terjaga.

Sampah plastik yang sulit terurai akan tetap mengambang dan menghiasi laut, bahkan bisa saja merusak bagian dasar laut seperti penumpukan sampah plastik. Tidak jarang sampah plastik termakan oleh biota di laut dan menyebabkan rusaknya pencernaan karena memang tidak seharusnya dikonsumsi oleh biota laut.



48

Gambar 3.4 Kerusakan Biota Laut

(<https://www.greeners.co/berita/hari-laut-sedunia-laut-indonesia-masih-menjadi-tempat-sampah/>)

5. Penumpukan Sampah di TPA

Sampah yang tidak terurai dengan baik dengan volume yang banyak juga menghiasi berbagai tempat, termasuk Tempat Pembuangan Akhir atau TPA. Penumpukan ini menjadi kasus tersendiri dengan volume sampah yang terus berkembang di setiap tahunnya.



Gambar 3.5 Penumpukan Sampah di TPA

(<https://www.kalimantan-news.com/sampah-di-tpa-tak-dikelola-dengan-baik/>)

6. Penggunaan Plastik Mengganggu Kesehatan Manusia

Fakta menunjukkan bahwa plastik juga dapat mengganggu kesehatan manusia. Produksi plastik menggunakan senyawa-senyawa kimia untuk

membuatnya berwarna menarik, kuat dan tidak mudah pecah. Senyawa tersebut sejatinya tidak stabil dan bereaksi dengan suhu serta bahan lainnya sehingga sangat mudah berpindah ke dalam makanan atau minuman.

Tidak hanya itu, binatang maupun ikan yang biasa manusia konsumsi juga telah terkontaminasi oleh mikroplastik (limbah plastik dalam bentuk mikro yang belum terdekomposisi) di dalam tubuhnya. Jadi, secara tidak langsung manusia juga ikut memakan plastik dari ikan yang dimakan.

Semua jenis plastik yang ada terbuat dari minyak bumi, yang dicampur dengan berbagai bahan kimia yang bersifat racun. Plastik dengan kandungan BPA (Bisphenol A) misalnya, diyakini dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti penurunan kesuburan. PS (*Polystyrene*), yang bersifat karsinogenik pemicu kanker dan sebagainya..



47

Gambar 3.6 Kesehatan Terganggu Akibat Plastik

(<https://www.klikdokter.com/info-sehat/read/3629209/darah-naik-ke-selang-infus-bahayakah>)

7. Plastik Sulit Terurai

Plastik sendiri memang sangat sulit terurai karena dari banyaknya plastik, hanya sekitar 20% yang sukses di daur ulang. Plastik sendiri dapat bertahan sangat lama di bumi hingga 60-70 tahun. Walaupun banyak plastik sekali pakai yang mengklaim mudah hancur, nyatanya sampah plastik sekali pakai hanya bisa hancur menjadi ukuran yang lebih kecil yang dikenal dengan sebutan mikroplastik. Namun, tidak benar-benar terurai di tanah. Serta plastik yang dibuat pada awal tahun 2000-an kemungkinan masih ada hingga saat ini.

Tentu dengan sampah yang sulit terurai perlu diatasi dengan beberapa hal salah satunya dengan cara mengurangi penyebaran sampah plastik. Beberapa hal sederhana tetapi sangat membantu menjaga kelestarian bumi diantaranya:

- Biasakan membuang sampah di tempat yang sudah disediakan
- Hentikan penggunaan plastik sekali pakai dengan alternatif lain yang lebih ramah lingkungan
- Ganti tempat makan atau tempat minum dengan bahan selain plastik
- Selalu membawa tempat minum sendiri yang dapat digunakan berulang saat bepergian kemanapun
- Bawa kotak makan sendiri saat hendak membeli makan di luar
- Gunakan pembalut kain atau menstrual cup saat datang bulan
- Mulai pisahkan jenis sampah organik dan anorganik
- Hentikan kebiasaan membakar sampah plastik

Lakukan beberapa hal yang paling mudah dan memungkinkan untuk dilakukan. Perlu langkah nyata untuk membiasakan kebiasaan baik yang lebih ramah lingkungan.



44

Gambar 3.7 Pemisahan Jenis Sampah Berdasar Warna Tempat Sampah
(<http://dlh.tapinkab.go.id/2016/06/tempat-sampah-5-warna.html>)

E. Inovasi Tempat Sampah

Masalah lingkungan hidup yang disebabkan oleh limbah utamanya sampah adalah masalah bersama. Semua manusia pasti akan merasakan dampak baik secara langsung ataupun tidak langsung. Dampak langsung apabila orang menjadi sakit akibat pengelolaan sampah yang salah, sedangkan tidak langsung karena sampah ternyata menurunkan kualitas kehidupan.

Diperlukan kesadaran masyarakat untuk tidak hanya membuang sampah di tempat sampah, tetapi juga memisahkan sampah sesuai dengan jenis-jenisnya. Tindakan ini tentunya harus mendapat dukungan dari pemangku kepentingan dalam hal ini pemerintah yang menangani masalah persampahan atau lingkungan hidup. Pemerintah dapat melakukan sosialisasi sekaligus membangun infrastruktur yang mendukung pembuangan sampah sesuai dengan jenisnya, contohnya tempat pembuangan sampah berdasarkan warna.

Sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) sampah harus dipilah-pilah sesuai jenisnya di tempat yang sudah disediakan sesuai dengan warnanya agar memudahkan pengelolaan. Pemisahan atau pemilahan sampah yang dibuang dapat dibedakan dengan warna tempat sampah seperti dibawah ini :

1. Tempat sampah organik (warna hijau)

Warna hijau adalah merupakan simbol dari warna alami yang merupakan warna dari umumnya dedaunan. Pewarnaan tempat sampah dengan cat hijau menunjukkan bahwa tempat sampah tersebut hanya diperuntukkan buat wadah sampah organik yang dapat dengan mudah terdekomposisi menjadi kompos. Sisa makanan, sayuran, dedaunan atau yang sejenis haruslah dibuang ke tempat sampah jenis ini agar dapat dengan mudah dikumpulkan dan dibuat menjadi pupuk kompos untuk dikembalikan ke alam menjadi nutrisi bagi tumbuh-tumbuhan.



22

Gambar 3.8 Sampah Organik

(<https://www.dml.or.id/news-articles/biogas-sampah-rumah-tangga.html>)

2. Tempat Sampah Non Organik (warna kuning)

Warna kuning menjadi ciri khas bagi tempat sampah non organik. Sampah jenis ini adalah sampah yang tidak mudah terdekomposisi secara alami, tetapi bisa dimanfaatkan kembali menjadi bentuk lain yang bermanfaat. Plastik bekas, berbagai jenis botol dan logam dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kerajinan atau dapat juga di daur ulang di pabrik-pabrik.



Gambar 3.9 Sampah Non Organik

(<https://mesinpencacahplastik.id/jenis-sampah-anorganik/>)

3. Tempat Sampah Non Organik Berbahaya / B3 (Warna Merah)

Merah adalah merupakan simbolisasi dari api yang panas, artinya tempat sampah berwarna merah hanya dikhususkan bagi sampah limbah yang berasal dari B3 (Bahan Berbahaya Beracun). Sampah limbah B3 adalah sampah yang menyebabkan karat (*corrosive*), mengandung racun (*toxic*), reaktif (*reactive*) dan mudah terbakar (*flammable*). Sampah jenis ini banyak jenisnya mulai dari sampah kaca, kaleng, plastik kemasan bahan kimia atau pembersih lainnya serta pembasmi serangga dan sejenisnya. Pemisahan sampah jenis ini agar tidak membahayakan kesehatan dan keselamatan orang dan makhluk hidup lainnya.



Gambar 3.10 Sampah B3

(<http://lingkungan.itats.ac.id/waspada-limbah-b3-di-rumah-kita/>)

4. Tempat Sampah Non Organik Berbahan Kertas (Warna Biru)

Warna biru melambangkan keluasaan, artinya tempat sampah berwarna biru hanya diisi dengan sampah yang bersih bisa di daur ulang seperti kertas-kertas. Kertas-kertas bekas dapat langsung dimanfaatkan oleh pengrajin menjadi barang lain yang lebih bernilai guna dan bernilai ekonomi.



50

Gambar 3.11 Kerajinan Hasil Kreasi Sampah Kertas

(<https://bahanperekat.com/merambah-ekspor-kerajinan-dari-limbah-kertas-yang-prospektif/>)

5. Tempat Sampah Residu (Warna Abu-abu)

Warna abu-abu identik dengan keraguan, melambangkan ketidakjelasan, artinya tempat sampah jenis ini diperuntukan bagi tempat sampah residu. Tempat sampah berwarna abu-abu hanya boleh di isi sampah-sampah selain dari ke-4 jenis seperti yang disebutkan terdahulu.

F. Teknologi Pengolahan Limbah Plastik

Limbah plastik bagi alam adalah merupakan bencana karena plastik yang berserakan menyebabkan kerusakan lingkungan. Lama waktu dekomposisi limbah plastik menjadikannya bahan ini mencemari lingkungan karena menghambat sirkulasi oksigen dan zat-zat lainnya di dalam tanah disamping meracuni tanah itu sendiri dengan komposisi kimia plastik.

Bencana bagi alam sejatinya adalah bencana bagi manusia itu sendiri karena manusia hidup dan sangat bergantung kepada alam. Kerusakan sebuah ekosistem pada hakekatnya berdampak panjang karena ekosistem tersebut merupakan sub ekosistem lainnya yang lebih besar dan satu sama lain saling berkaitan.

Cara paling mudah menangani limbah plastik adalah melalui proses pembakaran. Teknologi yang sering digunakan adalah menggunakan

insinerator (*incenerator*). Alat ini biasanya dirancang secara umum untuk pembakaran oksidatif penuh dengan kisaran suhu $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$, suhu di mana proses kalsinasi dan mencair juga dapat terjadi.



Gambar 3.12: Insinerator Pembakar Sampah

(<https://www.antaraneews.com/berita/1206403/lipi-perlu-teknologi-standar-untuk-pembakaran-sampah>)

Pembakaran sampah plastik menggunakan insinerator sudah bisa dipastikan bercampur dengan bahan-bahan sampah padat lainnya karena akan tidak efektif insinerator membakar hanya sampah plastik dengan menyingkirkan sampah lainnya karena memerlukan kerja ekstra dan biaya tambahan. Biasanya sampah plastik yang dibakar adalah sampah plastik kotor dan plastik yang tidak ekonomis di daur ulang.

Dalam pembakaran sampah padat menggunakan insinerator, konstituen utama dari gas buang hasil pembakaran adalah uap air, nitrogen, karbon dioksida dan oksigen. Namun dalam kondisi tertentu akan juga dihasilkan gas-gas berbahaya tergantung dari komposisi bahan yang dibakar. Kondisi operasi dan sistem pengendalian emisi gas buang dipasang menghasilkan gas asam (sulfur oksida, nitrogen oksida, hidrogen klorida), partikulat (termasuk partikel-terikat logam), dan berbagai senyawa organik yang mudah menguap, serta logam yang mudah menguap (seperti merkuri) yang dipancarkan.

Pembentukan senyawa tersebut biasanya meningkat secara substansial dalam instalasi yang dirancang atau dioperasikan dengan buruk.



Gambar 3.13 Proses Sortir Sampah Di Pabrik

(<https://mesinpencacahplastik.id/jenis-sampah-anorganik/>)

Beberapa jenis sampah plastik yang menjadi limbah sebenarnya masih mempunyai nilai ekonomis. Plastik-plastik jenis tertentu masih bisa dimanfaatkan untuk keperluan lainnya, bahkan ketika terpaksa harus dibuang ternyata ada yang bersedia mengumpulkan untuk dapat dijual dan plastik tersebut bisa di daur ulang menjadi barang plastik lainnya.

Plastik yang dikumpulkan oleh orang yang disebut dengan pemulung tersebut dijual kepada pengepul. Oleh pengepul biasanya plastik tersebut sebelum dijual kembali kepada pabrik akan dipilah-pilah sesuai jenis dan kebutuhan pabrik yang memerlukan. Intinya plastik tersebut sebelum diolah disesuaikan dulu dengan teknologi pengolahan yang tersedia.

Teknologi pengolahan sampah plastik yang selama ini digunakan adalah teknologi perajangan, pelelehan dan pencetakan plastik. Beberapa pengusaha daur ulang ada yang melakukan perajangan plastik. Hasil perajangan plastik tersebut berbentuk serpihan plastik (*plastic flakes*). Serpihan plastik kemudian dilelehkan untuk kemudian dicetak sesuai kebutuhan.

Limbah plastik sebelum dimasukkan dalam mesin perajang haruslah sudah bersih dan perlu dilakukan pemilahan sesuai jenis bahan plastiknya. Pemilahan bahan dilakukan secara manual dengan visual tenaga manusia sesuai jenisnya.

Mesin perajang ini digerakkan oleh motor listrik atau tenaga mesin diesel. Keluar dari mesin perajang, barang bekas plastik tersebut telah hancur menjadi serpihan dengan ukuran sekitar 1 cm² untuk selanjutnya masuk ke proses pencucian. Setelah selesai proses pencucian, plastik dikeringkan dan siap dilelehkan dalam mesin ekstruder pada suhu 150°C sampai dengan 250°C.

Di dalam mesin ekstruder plastik akan meleleh berupa pasta dan didorong menuju lubang-lubang dengan ukuran tertentu diujung mesin ekstruder dan masuk ke dalam bak panjang yang berisi air untuk pendinginan. Plastik pasta yang sudah dingin akan menjadi biji plastik yang selanjutnya dipotong seukuran biji plastik. Biji plastik adalah bahan baku pembuat alat-alat berbahan baku plastik.

G Daur Ulang Sampah Plastik

Daur ulang sampah plastik menjadi salah satu solusi terbaik untuk menekan produksi plastik baru. Metode ini pun memiliki banyak keuntungan karena selain mengurangi kebutuhan banyak bahan bakar fosil yang artinya menghemat energi, menekan penggunaan ruang TPA, juga akan mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca.



Gambar 3.14 Salah Satu Produk Daur Ulang Sampah Plastik Dijadikan Kerajinan Tangan Kreatif.

(<https://kumparan.com/karjaid/inovasi-ramah-lingkungan-daur-ulang-sampah-plastik-menjadi-tas-dan-dompot-1tmapT7nPqV>)

Ada beberapa langkah yang dilakukan sebelum melakukan daur ulang sampah plastik. Namun dalam hal ini, tahap pemilahan (sorting) merupakan

bagian terpenting dari cara daur ulang plastik. Pada tahapan ini plastik yang kotor atau tercampur dengan sampah lainnya seperti sampah organik akan dipilih dan dipilah. Beberapa jenis plastik mungkin tidak dapat di daur ulang untuk disingkirkan. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Umumnya setiap tahap ini sama untuk sebagian besar jenis fasilitas daur ulang. Namun, terkadang ada langkah-langkah tertentu yang dihilangkan atau digabung, diantaranya:

1. Pengumpulan (*Collection*)

Ini adalah merupakan langkah awal dalam proses daur ulang plastik. Dalam tahap ini yang menjadi ujung tombak biasanya adalah pemulung yang memungut sampah-sampah plastik yang berserakan dibuang oleh orang yang tidak bertanggung jawab. Pemulung biasanya juga memungut di tempat-tempat sampah tempat keramaian seperti rumah makan/restoran sarana olahraga atau rekreasi dan lain-lain

Penting kiranya peraturan dan kesadaran untuk masyarakat memisahkan jenis-jenis sampah berdasarkan jenisnya. Untuk jenis plastik disediakan suatu tempat sendiri sehingga pemulung mau mengambil dan memanfaatkannya. Plastik yang terlalu kotor bisa dipastikan pemulung enggan untuk memungutnya dan akhirnya menjadi limbah yang bermasalah.

Maka besar peran pemerintah membuat regulasi agar terdapat suatu tempat pembuangan sampah yang terpisah dan mudah diakses publik sehingga dapat membuang sampah dengan benar sesuai dengan jenis-jenis sampahnya. Sampah organik, sampah plastik dan sampah berbahaya berkumpul di tempatnya masing masing sehingga memudahkan penanganan.

2. Penyortiran (*Sorting*)

Penyortiran ini juga merupakan tahapan krusial karena plastik yang dibuang menjadi sampah mempunyai bahan yang berbeda dan masing-masing mempunyai karakteristik dan kegunaan berbeda. Ada plastik yang dikumpulkan untuk dijual kembali kepada pengepul, tetapi akhir-akhir ini ada plastik hasil limbah yang diolah kembali oleh masyarakat menjadi berbagai macam kerajinan bernilai estetika dan ekonomi.

Khusus untuk plastik daur ulang, terkadang beberapa fasilitas daur ulang hanya mampu mendaur ulang satu jenis sampah plastik saja. Selain itu, pemisahan plastik berdasarkan jenis dan warna juga berhubungan dengan harga jual plastik cacahan dimana plastik bening ternyata harganya lebih mahal jika dibandingkan dengan yang berwarna.

3. Pencucian (*Washing*)

Walaupun plastik yang disetorkan oleh pemulung biasanya sudah relatif bersih karena mereka hanya mengambil yang bersih, tetapi pencucian tetap dilakukan. Tahapan ini berguna untuk menghilangkan zat pengotor-pengotor lainnya yang masih menempel seperti label, perekat atau bahkan sisa makanan yang menempel.

Sampah non-plastik yang menempel ketika plastik di daur ulang dapat menyebabkan produk akhir memiliki kualitas kurang baik.

4. Perubahan Ukuran (*Resizing*)

Proses ini dilakukan dengan cara menghancurkan¹⁵ atau membuat butiran sampah plastik menjadi partikel yang lebih kecil. Langkah ini akan meningkatkan luas permukaan plastik, sehingga membuatnya lebih mudah untuk diproses, dibentuk kembali, dan diangkut jika diperlukan. Ini juga merupakan kesempatan terakhir untuk membersihkan sampah non plastik yang masih tercampur setelah melalui proses pengumpulan, penyortiran dan juga pencucian.

5. Identifikasi dan Pemisahan

Identifikasi dan pemisahan plastik berguna untuk menentukan kualitas dan kelas plastik. Dalam tahap proses daur ulang plastik ini, kualitas pertama yang diuji yaitu tingkat kepadatannya. Proses ini dilakukan dengan cara mengapungkan partikel di tangki air berukuran besar. Nantinya, partikel yang kurang padat akan mengapung. Sementara partikel yang lebih padat akan tenggelam.

Setelah itu dilakukan klasifikasi¹⁵ udara untuk mengukur seberapa tebal atau tipisnya suatu partikel. Langkah dalam proses ini ialah dengan cara menjatuhkan partikel ke terowongan angin kecil. Potongan yang lebih kecil akan terbang lebih tinggi ke atas terowongan. Sedangkan yang lebih besar akan berada di tingkat lebih rendah.

Selain kedua hal diatas, terdapat dua faktor lain yang biasa di¹⁵ dalam proses daur ulang sampah ini, yaitu titik leleh dan warnanya. Tahap ini ditentukan dengan cara mengumpulkan serta menganalisis sampel dari setiap batch partikel plastik.

6. Penggabungan (*Compounding*)

Langkah terakhir dalam proses daur ulang plastik ini adalah menjadikan pelet plastik dari partikel kecil yang dihancurkan. Pelet

plastik ini adalah merupakan bahan dasar pembuatan peralatan plastik selanjutnya.



Gambar 3.15 Pelet Plastik Hasil Daur Ulang Limbah Plastik

(<https://www.arahenvironmental.com/bagaimana-cara-daur-ulang-plastik/>)

BAB 4 BAHAN BAKAR MINYAK

36

A. Definisi dan Arti Pentingnya

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti Fisi nuklir atau Fusi nuklir). Hidrokarbon (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif.

Bahan bakar minyak (bbm) adalah bahan bakar yang berasal dan atau diolah dari minyak bumi. Minyak bumi adalah hasil proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan dan temperatur berupa fase cair atau padat.

B. Jenis-jenis Bahan Bakar

Jenis bahan bakar dapat dibedakan berdasarkan bentuk dan wujudnya serta berdasarkan materinya :

1. Jenis bahan bakar berdasarkan bentuk dan wujudnya

Jenis bahan bakar berdasarkan bentuk dan wujudnya terbagi menjadi bahan bakar padat, bahan bakar cair dan bahan bakar gas.

a. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara.

Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi.

b. Bahan bakar cair/Bahan bakar minyak

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/ gasolin/ premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda.

c. Bahan bakar gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *Compressed Natural Gas* (CNG) dan *Liquid Petroleum Gas* (LPG dan CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan Bahan Bakar Gas (BBG) yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor.

2. Jenis bahan bakar berdasarkan materinya

Jenis bahan bakar berdasarkan materinya terbagi menjadi bahan bakar tidak berkelanjutan dan bahan bakar berkelanjutan.

a. Bahan bakar tidak berkelanjutan

Bahan bakar tidak berkelanjutan bersumber pada materi yang diambil dari alam dan bersifat konsumtif. Sehingga hanya bisa sekali dipergunakan dan bisa habis keberadaannya di alam. Misalnya bahan bakar berbasis karbon seperti produk-produk olahan minyak bumi.

b. Bahan bakar berkelanjutan

Bahan bakar berkelanjutan bersumber pada materi yang masih bisa digunakan lagi dan tidak akan habis keberadaannya di alam. Misalnya tenaga matahari, air, panas bumi, angin dan pasang surut air laut.

C. Hidrokarbon

1. Definisi

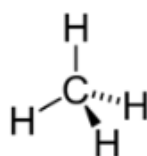
Dalam bidang kimia, hidrokarbon adalah sebuah senyawa yang terdiri dari unsur karbon (C) dan unsur Hidrogen (H). Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon dan atom-atom hidrogen yang berikatan dengan rantai tersebut. Istilah tersebut digunakan juga sebagai pengertian dari hidrokarbon alifatik.

Sebagai contoh, metana (gas rawa) adalah hidrokarbon dengan satu atom karbon dan empat atom hidrogen: CH_4 . Etana adalah hidrokarbon (lebih terperinci, sebuah alkana) yang terdiri dari dua atom karbon bersatu dengan sebuah ikatan tunggal, masing-masing mengikat tiga atom karbon: C_2H_6 . Propana memiliki tiga atom C (C_3H_8) dan seterusnya ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$). (10)

2. Tipe-tipe Hidrokarbon

Klasifikasi hidrokarbon yang dikelompokkan oleh tatanama organic adalah :

- a. Hidrokarbon jenuh/tersaturasi (alkana) adalah hidrokarbon yang paling sederhana. Hidrokarbon ini seluruhnya terdiri dari ikatan tunggal dan terikat dengan hidrogen. Rumus umum untuk hidrokarbon tersaturasi adalah $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Hidrokarbon jenuh merupakan komposisi utama pada bahan bakar fosil dan ditemukan dalam bentuk rantai lurus maupun bercabang. Hidrokarbon dengan rumus molekul sama tetapi strukturnya berbeda dinamakan isomer struktur.

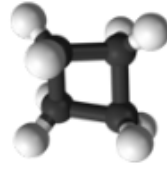


Gambar 4.1 Struktur Kimia Metana Alkana

- b. Hidrokarbon tak jenuh/tak tersaturasi adalah hidrokarbon yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap, baik rangkap dua maupun rangkap tiga. Hidrokarbon yang mempunyai ikatan rangkap dua disebut dengan alkena, dengan rumus umum C_nH_{2n} . Hidrokarbon yang mempunyai ikatan rangkap tiga disebut alkuna, dengan rumus umum $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$.

21

- c. Sikloalkana adalah hidrokarbon yang mengandung satu atau lebih cincin karbon. Rumus umum untuk hidrokarbon jenuh dengan 1 cincin adalah $C_n H_{2n}$



Gambar 4.2 Siklobutana

- d. Hidrokarbon aromatic, juga dikenal dengan arena adalah hidrokarbon yang paling tidak mempunyai satu cincin aromatik.

72

Hidrokarbon dapat berbentuk gas, contohnya metana dan propana. Berbentuk cairan, contohnya heksana dan benzena, lilin atau padatan dengan titik didih rendah seperti paraffin wax dan naftalena atau polimer, contohnya polipropilena, polietilena dan polistirena.

3. Hidrokarbon Sederhana dan Variasinya

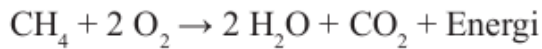
Hidrokarbon sederhana dengan jumlah atom karbon 1-10 dengan jumlah ikatannya dapat dilihat pada tabel 3.1:

Tabel 4.1 Hidrokarbon Sederhana

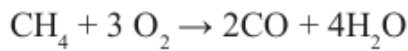
Jumlah Atom Karbon	Alkana (1 ikatan)	Alkena (2 ikatan)	Alkuna (3 ikatan)	Sikloalkana	Alkadiena
1	Metana	-	-	-	-
2	Etana	Etena	Etuna	-	-
3	Propana	Propena	Propuna	siklopropana	prpopadiena
4	Butana	Butena	Butuna	siklobutana	butadiena
5	Pentana	Pentena	Pentuna	siklopentana	pentadiena
6	Heksana	Heksena	Heksuna	sikloheksana	heksadiena
7	Heptana	Heptena	Heptuna	sikloheptana	heptadiena
8	Oktana	Oktena	Oktuna	siklooktana	Oktadiena
9	Nonana	Nonena	Nonuna	siklononana	nonadiena
10	Dekana	Dekena	Dekuna	siklodekana	dekadiena

4. Pembakaran Hidrokarbon

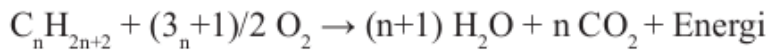
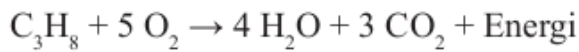
Ciri-ciri umum dari hidrokarbon adalah menghasilkan uap, karbon dioksida, dan panas selama pembakaran, dan oksigen diperlukan agar reaksi pembakaran dapat berlangsung. Berikut ini adalah contoh reaksi pembakaran metana:



Jika udara miskin gas oksigen, maka akan terbentuk gas karbon monoksida (CO) dan air:



Contoh lainnya, reaksi pembakaran propana:



Reaksi pembakaran hidrokarbon termasuk reaksi kimia eksotermik (11)

5. Penggunaan Hidrokarbon

Hidrokarbon adalah salah satu sumber energi paling penting di bumi. Penggunaan yang utama adalah sebagai sumber bahan bakar. Dalam bentuk padat, hidrokarbon adalah salah satu komposisi pembentuk aspal.

Hidrokarbon dulu juga pernah digunakan untuk pembuatan klorofluorokarbon, zat yang digunakan sebagai propelan pada semprotan nyamuk. Saat ini klorofluorokarbon tidak lagi digunakan karena memiliki efek buruk terhadap lapisan ozon.

Metana dan etana berbentuk gas dalam suhu ruangan dan tidak mudah dicairkan dengan tekanan begitu saja. Propana lebih mudah untuk dicairkan, dan biasanya dijual di tabung-tabung dalam bentuk cair. Butana sangat mudah dicairkan, sehingga lebih aman dan sering digunakan untuk pemantik rokok. Pentana berbentuk cairan bening pada suhu ruangan, biasanya digunakan di industri sebagai pelarut wax dan lemak. Heksana biasanya juga digunakan sebagai pelarut kimia dan termasuk dalam komposisi bensin.

Heksana, heptana, oktana, nonana, dekana, termasuk dengan alkena dan beberapa sikloalkana merupakan komponen penting pada bensin, nafta, bahan bakar jet, dan pelarut industri. Dengan bertambahnya atom karbon, maka hidrokarbon yang berbentuk linear akan memiliki sifat viskositas dan titik didih lebih tinggi, dengan warna lebih gelap.

Saat ini, hidrokarbon merupakan sumber energi listrik dan panas utama dunia karena energi yang dihasilkannya ketika dibakar. Energi hidrokarbon ini biasanya sering langsung digunakan sebagai pemanas di rumah-rumah, dalam bentuk minyak maupun gas alam. Hidrokarbon dibakar dan panasnya

digunakan untuk menguapkan air, yang nanti uapnya disebarkan ke seluruh ruangan. Prinsip yang hampir sama digunakan di pembangkit-pembangkit listrik.

6. Klasifikasi Minyak Bumi

Minyak mentah sangat sukar di klasifikasikan dan sampai sekarang belum ada satupun cara klasifikasi yang benar-benar memuaskan. Penyebabnya adalah komposisi kimia minyak mentah mempunyai variasi yang praktis tidak terhingga. Ini disebabkan karena setiap lapangan minyak menghasilkan minyak mentah yang berbeda dengan minyak mentah yang dihasilkan oleh lapangan minyak lainnya.

Klasifikasi ini sangat penting artinya, yaitu untuk mengetahui sifat minyak bumi, sehingga berguna untuk memprediksi produk yang sekiranya dapat dihasilkan dari setiap golongan minyak mentah. Komponen hidrokarbon dalam minyak bumi dibedakan atas struktur hidrokarbon dan non hidrokarbon. Perbedaan komposisi ini akan menyebabkan perbedaan sifat minyak bumi, yaitu perbedaan susunan hidrokarbon, SG, °API, volatilitas, flash point, distilasi dan sebagainya.

Berikut beberapa cara kasifikasi minyak mentah yang pernah diajukan.

a. Klasifikasi Berdasarkan Gravitasi API atau Berat Jenis

Ini adalah klasifikasi yang paling sederhana, ialah klasifikasi yang didasarkan kepada gravitasi API atau berat jenis. Prinsipnya jika gravitasi API minyak mentah tinggi atau dengan kata lain berat jenis minyak mentah rendah, maka ada kecenderungan bahwa minyak mentah tersebut mengandung fraksi ringan dalam jumlah yang besar. Minyak mentah dengan gravitasi 35°API biasanya lebih berharga daripada minyak mentah dengan gravitasi 30°API, karena mengandung fraksi ringan berupa bensin dan kerosin lebih banyak dan fraksi berat (residu).

Berat jenis minyak bumi berkisar antara 0,8000 – 1,0000. Besarnya berat jenis untuk tiap minyak bumi sangat erat hubungannya dengan struktur molekul hidrokarbon, dan pula kandungan Sulfur dan Nitrogen. Makin kecil berat jenis minyak bumi itu akan menghasilkan produk ringan makin besar, dan sebaliknya.

Berdasarkan gravitasi API atau berat jenis, minyak mentah dibagi kedalam lima jenis yaitu: minyak mentah ringan, minyak mentah ringan sedang, minyak mentah berat sedang, minyak mentah berat dan minyak mentah sangat berat. Berikut tabel dari lima jenis gravitasi API:

Tabel 4.2. Lima Gravitasi API

Jenis Minyak Mentah	Gravitasi API		Berat Jenis	
	Dari	Sampai	Dari	Sampai
Minyak mentah ringan	> 39,0	-	<0,830	-
Minyak mentah ringan sedang	39,0	35,0	0,830	0,850
Minyak mentah berat sedang	35,0	35,0	0,850	0,865
Minyak mentah berat	35,0	24,8	0,865	0,905
Minyak mentah sangat berat	< 24,8	-	>0,905	-

b. Klasifikasi Berdasarkan Kandungan Malam dan Aspal

Hampir sebagian besar minyak mentah, kira-kira 90% termasuk dalam golongan minyak mentah dasar campuran, sedang 10% lainnya termasuk dalam golongan minyak mentah dasar parafin dan aspal. Berdasarkan kandungan malam parafin dan aspal minyak mentah dapat dibagi ke dalam tiga golongan dasar minyak mentah yaitu:

- a. Minyak mentah dasar parafin
- b. Minyak mentah dasar aspal, disebut juga minyak mentah dasar naften
- c. Minyak mentah dasar campuran atau tengahan.

Dengan makin banyak ditemukannya lapangan minyak baru, ternyata ada beberapa minyak bumi yang kaya akan senyawa aromatik. Sehingga timbul golongan dasar minyak mentah yang baru yaitu golongan dasar aromatik.

Dilihat dari tempat atau daerah asalnya, minyak mentah dari Pennsylvania mengandung malam parafin dan tidak mengandung aspal, minyak mentah dari California mengandung aspal dan tidak mengandung malam parafin, sedang minyak mentah dari Mid Continent mengandung baik malam parafin dan aspal.

Minyak mentah juga diberi nama lapangan atau daerah dimana minyak mentah itu ditemukan, misalnya minyak mentah Duri dari daerah Duri, minyak mentah Lirik, dari daerah Lirik Sumatera Selatan, dan lain sebagainya.

c. Klasifikasi Berdasarkan Sifat Penguapan (*Volatility*)

Sifat penguapan minyak bumi dijadikan ukuran dalam klasifikasi ini. Sebagai ukuran dalam klasifikasi minyak bumi ini adalah jumlah fraksi ringan

dinyatakan dalam % volume yang terkandung di dalam minyak bumi itu yang diperoleh dari hasil distilasi sampai suhu 300°C.

Tabel 4.3 Tabel Klasifikasi Volatility

Minyak Bumi	Fraksi Ringan % Vol
Ringan	>50
Sedang	20 – 50
Berat	<20

Tabel: Klasifikasi Berdasar Sifat Penguapan

d. Klasifikasi Berdasarkan Komposisi Kimia

Klasifikasi ini diajukan oleh Sachanen yang didasarkan kepada komposisi kimia fraksi minyak bumi yang mempunyai daerah didih antara 250 – 300°C. Kesulitan dalam klasifikasi ini ialah bahwa fraksi yang mendidih di atas 200°, molekul – molekulnya jarang terdapat dalam keadaan murni tetapi dalam keadaan gabungan. Molekul naften atau aromatik murni sangat jarang dijumpai; senyawa siklik umumnya mengandung rantai cabang parafin dan malahan seringkali cincin aromatik dan cincin naften berdampingan.

Tabel 4.4. Klasifikasi Minyak Mentah menurut Sachanen

Golongan	Komposisi Fraksi 250 – 300°C				
	% Parafin	% Naften	%Aromatik	%Malam	%Aspal
Parafin	46 – 61	22 – 32	12 – 25	1,5 – 10	0 – 6
Par-naft	42- 45	38 – 39	16 – 20	1 – 6	0 – 6
Naften	16 – 26	61 – 76	8 – 13	sedikit	0 – 6
Par-naft-arom	27 – 35	36 – 47	26 – 33	0,5 – 1	0 – 10
Naft-arom	0 – 8	57 - 78	20 - 25	0 – 0,5	0 – 20

e. Klasifikasi Berdasarkan *US Bureau of Mines*

Klasifikasi minyak bumi yang pada waktu sekarang banyak digunakan ialah klasifikasi menurut Lane dan Garton dari *U.S. Bureau of Mines*. Sebagai dasar klasifikasinya digunakan gravitas API fraksi kunci nomer 1 dan nomer 2, yang diperoleh dengan jalan distilasi dengan alat distilasi Hempel Standard. Secara teoritis ada sembilan golongan dasar minyak mentah, tetapi dalam praktek hanya ada tujuh golongan dasar minyak mentah saja yang dikenal. Dua golongan dasar minyak mentah yang belum pernah dijumpai sampai sekarang adalah golongan dasar parafin-naften dan naften-parafin. Adapun klasifikasi minyak mentah Indonesia menurut *U.S. Bureau of Mines* dapat dilihat pada lampiran di bawah ini:

Tabel 4.5. Klasifikasi minyak bumi menurut U.S. Bureau of Mines

No	Golongan Dasar	Gravitas API	
		Fraksi Kunci nomor 1	Fraksi Kunci nomor 2
1	parafin-parafin	> 40	> 30
2	parafin-tengahan	> 40	20 - 30
3	parafin-naften	> 40	< 20
4	tengahan-parafin	33 - 40	> 30
5	tengahan-tengahan	33 - 40	20 - 30
6	tengahan-naften	33 - 40	< 20
7	naften-parafin	< 33	> 30
8	naften-tengahan	< 33	20 - 30
9	naften-naften	< 33	< 20

f. Klasifikasi berdasarkan Kadar Belerang (% massa).

Sebagai ukuran dalam klasifikasi minyak bumi ini adalah kadar Sulfur dalam minyak bumi, dinyatakan dalam % massa yang terkandung dalam minyak bumi itu yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium dengan menggunakan metode standar ASTM D 1552 (atau dengan metode standar yang lain).

Tabel 4.6. Klasifikasi Minyak Bumi menurut Kadar Sulfur

Minyak Bumi	Kadar Sulfur, % massa
Ringan	< 0,1
Sedang	0,1 - 2,0
Berat	> 2,0

g. Klasifikasi Berdasarkan Viscosity Gravity Constant (VGC)

Ukuran dalam klasifikasi minyak bumi ini, adalah dengan mengukur SG 60/60°F minyak bumi dan mengukur viscositas minyak bumi (viscosity Saybolt).

Klasifikasi VGC ini digunakan untuk fraksi minyak lumpur.

Dirumuskan :

$$VGC = \frac{10G - 1,0752 \log(V - 38)}{10 - \log(V - 38)} \dots\dots\dots(5)$$

dimana : SG = Specific Gravity 60/60°F

V = Viscosity pada 100°F (38°C), SSU

atau :

$$VGC = \frac{G - 0,24 - 0,22 \log(V - 35,5)}{0,755} \dots\dots\dots(6)$$

dimana : SG = *Specific Gravity* 60/60 °F

V = *Viscosity* pada 210°F (99°C), SSU.

28

Tabel 4.7 Klasifikasi Minyak Bumi Menurut *Viscosity Gravity Constant* (VGC)

VGC	Klasifikasi
0,800 - 0,840	Hidrokarbon Parafinic
0,840 - 0,876	Hidrokarbon Naftenic
0,876 - 1,00	Hidrokarbon Aromatic

h. Klasifikasi Berdasarkan Indeks Korelasi (*Correlation Index*)

Ukuran dalam klasifikasi minyak bumi ini, adalah dengan mengukur SG 60/60°F minyak bumi dan menghitung titik didih rata – rata distilasi minyak bumi.

Dirumuskan :

$$CI = 473,7SG - 456,8 + \frac{48,640}{T} \dots\dots\dots(7)$$

dimana : T = titik didih rata – rata, °Kelvin (= °C + 273)

SG = *Specific Gravity* 60/60 °F

Tabel 4.8. Klasifikasi Minyak Bumi menurut *Correlation Index* (CI)

<i>Correlation Index</i>	Klasifikasi
0	Hidrokarbon Seri Normal Parafin
100	Hidrokarbon Benzene
0 - 15	Hidrokarbon yang dominan dalam fraksi adalah Parafinic
15 - 50	Hidrokarbon yang dominan adalah Naftenic, atau campuran Parafinic, Naftenic dan Aromatic
> 50	Hidrokarbon yang dominan dalam fraksi adalah aromatic

i. Klasifikasi Berdasarkan Faktor Karakterisasi

Klasifikasi ini diajukan oleh Waston dari *Universal Oil Product Company* dan didefinisikan sebagai faktor karakterisasi Watson K dengan persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{\sqrt[3]{T_B}}{S} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana T_B mula – mula didefinisikan sebagai titik didih rerata molal, kemudian berubah menjadi titik didih rerata kubis dan akhirnya menjadi titik didih rerata tengahan dalam °R dan S adalah berat jenis pada 60/60°F. Klasifikasi ini juga berlaku untuk fraksi

minyak bumi langsung (*Straight run fractions*). Adapun factor karakteristik untuk berbagai golongan dasar minyak mentah adalah sebagai berikut:

Minyak mentah dasar parafin: $K > 12,1$

Minyak mentah dasar tengahan: $K = 11,5 - 12,1A$

Minyak mentah dasar naften: $K = 10,5 - 11,45$

Minyak mentah dasar aromatis: $K < 10,5$

j. Klasifikasi Berdasarkan Indeks Korelasi

Klasifikasi ini dikembangkan oleh H.M. Smith dari US Bureau of Mines yang juga berlaku untuk fraksi minyak bumi. Indeks ini diperoleh dengan jalan melukiskan kebalikan titik didih rata-rata volumetric sesuatu fraksi terhadap berat jenis pada 60/60°F di dalam garis untuk setiap hidrokarbon. Untuk senyawa hidrokarbon parafin normal garis ini diberi angka nol, sedangkan untuk bensin diberi angka 100, seperti terlihat pada gambar 3-2. Berdasarkan grafik tersebut, selanjutnya dapat dijabarkan persamaan empiric sebagai berikut:

$$I.K. = 473,78 - 456,8 + 48.640/K$$

Dimana I.K. adalah indeks korelasi, S adalah gravitas jenis pada 60/60°F dan K adalah titik didih rerata dalam K. Harga indeks⁽¹⁾ antara 0, sampai 15 menunjukkan bahwa hidrokarbon parafin dalam fraksi dominan; harga antara 15 sampai 50 menunjukkan bahwa hidrokarbon naften atau campuran hidrokarbon parafin, naftendean aromatis dalam fraksi dominan dan harga indeks di atas 50 menunjukkan bahwa hidrokarbon aromatis dalam fraksi dominan.

k. Klasifikasi Minyak Bumi Lainnya

Disamping klasifikasi minyak bumi yang telah diuraikan di atas, masih ada beberapa cara klasifikasi lainnya seperti klasifikasi berdasarkan *Specific Gravity* 60/60°F (SG 60/60°F), klasifikasi berdasarkan Sifat Penguapan (*Volatility*) dan lainnya.

D. Produksi Bahan Bakar Minyak

Minyak mentah (*crude oil*) adalah cairan hitam, coklat gelap, atau kehijauan yang kental dan mudah terbakar yang ditambang dari perut bumi dan berbau khas. Minyak tersebut belum dapat digunakan sebagai bahan bakar atau keperluan lainnya, sebelum diolah lebih lanjut.

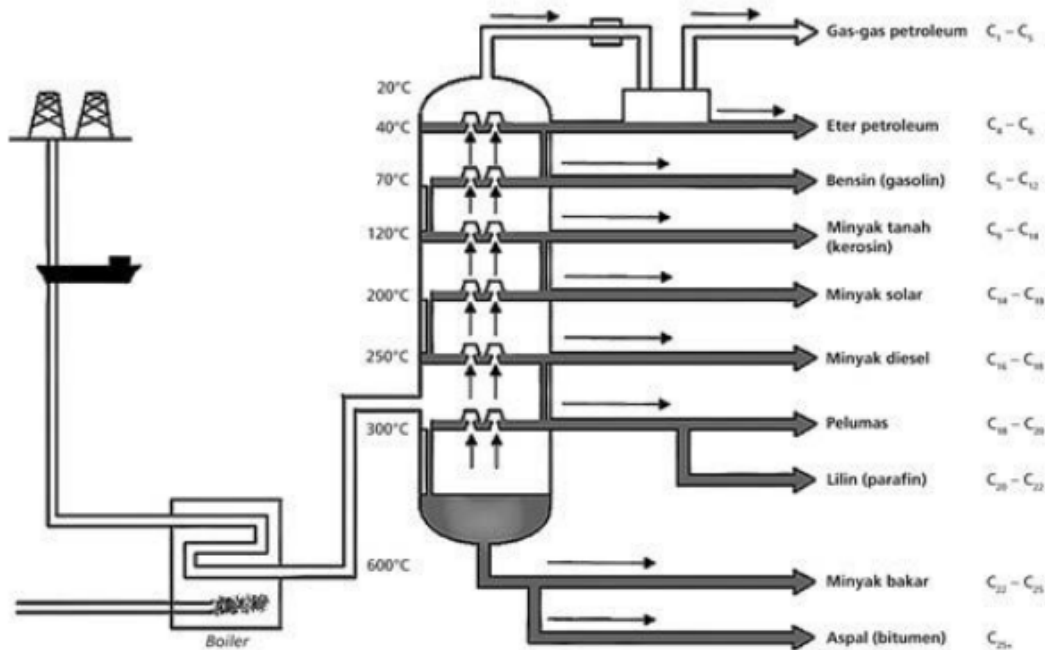
Minyak mentah mengandung sekitar 500 jenis hidrokarbon dengan jumlah atom C-1 sampai 50. Titik didih hidrokarbon meningkat seiring bertambahnya jumlah atom C yang berada di dalam molekulnya. Oleh karena itu, pengolahan minyak bumi dilakukan melalui destilasi bertingkat, dimana minyak mentah dipisahkan ke dalam kelompok-kelompok (fraksi) dengan titik didih yang mirip.

Destilasi adalah suatu cara yang paling penting untuk memisahkan minyak mentah ke dalam fraksi-fraksinya. Senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah tidak semuanya sesuai untuk berbagai produk yang diinginkan. Sifat-sifat fraksi tergantung kepada komposisi minyak mentah dan tergantung kepada tipe produk jadi yang diinginkan.

Minyak mentah yang berasal dari dalam perut bumi mempunyai sifat-sifat yang berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Perbedaan menghasilkan produk yang sangat bervariasi sehingga jenis produk yang dapat dihasilkan oleh sebuah kilang bisa sangat berbeda.

Fungsi dari kilang minyak adalah destilasi minyak mentah untuk memisahkan minyak bumi ke dalam fraksi-fraksinya berdasarkan daerah didihnya. Operasi lainnya dari suatu kilang dapat sedikit atau banyak jumlahnya, dapat sederhana atau kompleks, tergantung kepada produk-produk yang akan dibuat. Oleh karena itu dapatlah dikatakan, bahwa tidak ada dua buah kilang minyak yang mempunyai skema proses pengolahan yang sama.

Dalam kenyataannya kilang minyak terdiri dari unit-unit atau pabrik manufaktur yang berbeda, karena unit-unit tersebut mengolah bahan minyak yang berbeda dan menghasilkan produk-produk yang berbeda pula. Makin kompleks kilang minyak atau makin beragam unit yang ada di dalam kilang, maka makin banyak produk yang dihasilkan untuk dapat dipasarkan.



Gambar 4.3 Fraksi dan Manfaat Minyak Bumi

Pada pemrosesan minyak bumi, ada 2 (dua) hal yang harus dilakukan, yakni :

1. Proses pemisahan (*separation processes*)

Unit operasi yang digunakan dalam tahap penyulingan minyak adalah sederhana, tetapi interkoneksi dan interaksinya melibatkan kerja yang kompleks. Adapun proses pemisahan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Destilasi

Destilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam penyulingan, minyak mentah dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu. Bensin, kerosin dan minyak gas biasanya disuling pada tekanan atmosfer, fraksi-fraksi minyak pelumas akan mencapai suhu yang lebih tinggi dimana zat-zat hidrokarbon mulai terurai, minyak pelumas disuling dengan tekanan yang diturunkan dengan menggunakan pompa vacuum (*vacuum pump*).

Destilasi dalam pengolahan minyak bumi terdiri dari beragam jenis, diantaranya:

1) Destilasi bertingkat

Dalam proses ini minyak mentah tidak dipisahkan menjadi komponen-komponen murni, melainkan ke dalam fraksi-fraksi, yakni kelompok-kelompok yang mempunyai kisaran titik didih tertentu. Hal ini dikarenakan jenis komponen hidrokarbon begitu banyak dan isomer-isomer hidrokarbon mempunyai titik didih yang berdekatan.

2) Destilasi sederhana

Destilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer digunakan untuk memisahkan campuran air dan alkohol. Pada destilasi jenis ini, 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, atau kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas.

3) Destilasi fraksionasi

Destilasi jenis ini digunakan pada industri minyak untuk memisahkan komponen-komponen dalam minyak mentah. Destilasi fraksionasi adalah memisahkan komponen-komponen cair, dua atau lebih, dari suatu larutan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Destilasi ini bekerja pada tekanan atmosfer atau dengan tekanan rendah digunakan untuk campuran dengan perbedaan titik didih kurang dari 20°C .

4) Destilasi uap

Destilasi uap digunakan pada campuran senyawa-senyawa yang memiliki titik didih mencapai 200°C atau lebih. Destilasi uap dapat menguapkan senyawa-senyawa ini dengan suhu mendekati 100°C dalam tekanan atmosfer dengan menggunakan uap atau air mendidih.

5) Destilasi vakum

Destilasi vakum digunakan jika senyawa yang ingin didestilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat terdekomposisi sebelum atau mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas 150°C .

b. Absorpsi

Fase ini digunakan untuk memisahkan zat yang bertitik didih tinggi dengan gas. Minyak gas digunakan untuk menyerap gasolin alami dari gas-gas basah. Proses ini dilakukan terutama dalam hal untuk mendapatkan fraksi-fraksi gasolin alami yang dapat dicampurkan pada bensin.

c. Adsorpsi

Adalah suatu proses penyerapan yang terjadi ketika suatu zat baik cair maupun gas terikat kepada suatu padatan atau cairan. Penyerapan ini akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film pada permukaannya. Proses adsorpsi digunakan untuk memperoleh material berat dari gas.

d. Filtrasi

Filtrasi digunakan untuk decolorisasi fraksi. Dengan menggunakan tanah liat endapan lilin dipindahkan dari lilin yang mengandung destilat.

e. Kristalisasi

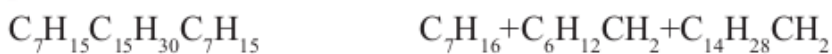
Kristalisasi adalah proses pembentukan bahan padat dari pengendapan larutan. Produk yang dihasilkan biasanya berupa campuran leleh (melt) atau lebih jarang pengendapan langsung dari gas. Kristalisasi juga merupakan teknik pemisahan kimia antara bahan padat-cair, di mana terjadi perpindahan massa (*mass transfer*) dari suatu zat terlarut (*solute*) atau dari cairan larutan ke fase kristal padat. Sebelum di filtrasi lilin harus dikristalisasi untuk menyesuaikan ukuran kristal dengan *cooling* dan *stirring*. Lilin yang tidak diinginkan dipindahkan dan menjadi lilin mikrokristalin yang diperdagangkan.

1. Proses konversi (*conversion processes*)

Hampir 70% dari minyak mentah di proses secara konversi, mekanisme yang terjadi berupa pembentukan “ion karbonium” dan “radikal bebas”. Proses konversi bertujuan untuk memperoleh fraksi-fraksi dengan kuantitas dan kualitas sesuai permintaan pasar. Sebagai contoh, untuk memenuhi kebutuhan fraksi bensin yang tinggi, maka sebagian fraksi rantai panjang perlu diubah/dikonversi menjadi fraksi rantai pendek. Beberapa jenis konversi dalam kilang minyak diantaranya:

a. Cracking atau Pyrolysis

Cracking atau pyrolysis merupakan proses pemecahan molekul-molekul hidrokarbon besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dengan adanya pemanasan atau katalis.



Keterangan :

$C_7H_{15}C_{15}H_{30}C_7H_{15}$: Minyak gas berat

C_7H_{16} : Gasoline

$C_6H_{12}CH_2$: Gasalin (*anti knock*)

$C_{14}H_{28}CH_2$: *Recycle stock*

Dengan adanya pemanasan yang cukup dan katalis maka hidrokarbon paraffin akan pecah menjadi dua atau lebih fragmen dan salah satunya berupa olefin. Semua reaksi cracking adalah endotermik dan melibatkan energi yang tinggi.

b. Polimerisasi

Proses polimerisasi mengubah produk samping gas hidrokarbon yang dihasilkan pada *cracking* menjadi hidrokarbon *liquid* yang bisa digunakan sebagai bahan bakar motor dan penerbangan yang memiliki bilangan oktan yang tinggi dan bahan baku petrokimia. Bahan dasar utama dalam proses polimerisasi adalah olefin (hidrokarbon tidak jenuh) yang diperoleh dari *cracking still*. Contohnya: Propilen, n-butilen, isobutilen.

c. Alkilasi

Alkilasi adalah penggabungan molekul-molekul kecil menjadi molekul besar. Proses alkilasi adalah eksotermik dan pada dasarnya sama dengan polimerisasi, sebagai hasilnya adalah produk alkilat yang tidak mengandung olefin dan memiliki bilangan oktan yang tinggi. Metode ini didasarkan pada reaktifitas dari karbon tersier dari isobutan dengan olefin, seperti propilen, butilen dan amilen yang menjadi komponen fraksi bensin.

d. Hidrogenasi

Proses ini adalah penambahan hidrogen pada olefin. Katalis hidrogen adalah logam yang dipilih tergantung pada senyawa yang akan di reduksi dan pada kondisi hidrogenasi, misalnya Pt, Pd, Ni, dan Cu. Disamping untuk menjenuhkan ikatan ganda, hidrogenasi dapat digunakan untuk mengeliminasi elemen-elemen lain dari molekul, elemen ini termasuk oksigen, nitrogen, halogen dan sulfur

e. Hydrocracking

Adalah merupakan unit proses kilang minyak bumi yang termasuk kelompok *secondary processing*, yaitu proses *downstream* kilang minyak bumi yang menggunakan reaksi kimia untuk menghasilkan produk-produknya. Proses hydrocracking merupakan penambahan hidrogen pada proses cracking

f. Isomerisasi

Proses isomerisasi merubah struktur dari atom dalam molekul tanpa adanya perubahan nomor atom. Proses ini menjadi penting karena dapat

menghasilkan iso-butana yang dibutuhkan untuk membuat alkilat sebagai dasar gasoline penerbangan

g. Reforming dan Aromatisasi

Reforming merupakan proses konversi dari naptha untuk memperoleh produk yang memiliki bilangan oktan yang tinggi, dalam proses ini biasanya menggunakan katalis rhenium, platinum dan chromium.

Bagaimanapun juga pengubahan minyak mentah menjadi berbagai macam produk tidak akan selalu sama antara satu kilang dengan kilang yang lainnya. Secara umum fraksi-fraksi yang biasanya dapat diperoleh dari minyak mentah, daerah didihnya dan penggunaannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Fraksi-Fraksi Dari Minyak Mentah

Bahan bakar gas	-259 sampai -44°F	Metan, etan dan sedikit propan. Untuk bahan bakar kilang.
Propan	-44°F	Elpiji
Butan	31°F	Dicampur dengan bensin untuk menaikkan votalitas bensin.
Nafta ringan	30 sampai 300°F	Komponen bensin motor
Nafta berat	300 sampai 400°F	Umpan reformer katalitik, dicampur dengan minyak gas ringan untuk membuat bahan bakar jet
Kerosin	400 sampai 500°F	Bahan bakar kerosin
Minyak tungku	400 sampai 550°F	Sama dengan kerosin, tetapi dengan titik didih akhir yang lebih tinggi.
Minyak gas ringan	400 sampai 600°F	Bahan bakar dapur dan bahan bakar diesel; dapat dicampur degan minyak tungku untuk menurunkan titik tuang.
Minyak gas berat	600 sampai 800°F	Dicampur dengan minyak gas hampa sebagai umpan untuk rengkahan katalis
Minyak gas hampa	800 sampai 1100°F	Umpan untuk unit rengkahan katalis.
Residu pendek	1100+°F	untuk minyak bakar berat. Dapat dibuat aspal.

E. Jenis-jenis Bahan Bakar Minyak

Menurut Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi jenis bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

1. Avgas (*aviation gasoline*)

Avgas merupakan bahan bakar minyak (BBM) khusus yang dihasilkan dari fraksi (bagian kecil) minyak bumi. BBM ini ditujukan untuk bahan bakar pesawat udara tipe mesin sistem pembakaran dalam (*internal combustion*), mesin piston dengan sistem pengapian.

2. Avtur (*aviation turbine*)

Sama seperti avgas, avtur juga merupakan BBM jenis khusus yang dihasilkan dari fraksi minyak bumi. BBM ini ditujukan untuk bahan bakar pesawat udara dengan tipe mesin turbin (*external combustion*).

3. Bensin

Jenis BBM ini merupakan yang paling umum digunakan untuk kendaraan bermotor. Bensin ditujukan untuk mesin dengan pembakaran dengan pengapian. Di Indonesia terdapat beberapa jenis bahan bakar jenis bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda.

Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (*Random Octane Number*). Berdasarkan RON, BBM bensin dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Premium (RON 88): Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning ini akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin mesin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut motor gasoline atau petrol.
- b. Pertamax (RON 92): ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). Pertamax juga direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas tahun 1990 terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *electronic fuel injection* dan *catalytic converters*.
- c. Pertamax Plus (RON 95): Jenis BBM ini telah memenuhi standar *performance International World Wide Fuel Charter (WWFC)*. Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan.

4. Minyak Tanah (*Kerosene*)

Minyak tanah atau kerosene merupakan bagian dari minyak mentah yang memiliki titik didih antara 150 °C dan 300 °C dan tidak berwarna.

BBM ini digunakan selama bertahun-tahun sebagai alat bantu penerangan, memasak, water heating, dan lain-lain. Umumnya merupakan pemakaian domestik (rumahan), usaha kecil.

5. Minyak Solar (HSD)

High Speed Diesel (HSD) merupakan BBM jenis solar yang umumnya digunakan untuk mesin transportasi mesin diesel. Mesin diesel ini umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection*. Jenis BBM ini ditujukan untuk jenis kendaraan bermotor transportasi dan mesin industri.

6. Minyak Diesel (MDF)

Minyak Diesel adalah hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam yang berbentuk cair pada temperatur rendah. Biasanya memiliki kandungan sulfur yang rendah dan dapat diterima oleh *Medium Speed Diesel Engine* di sektor industri. Oleh karena itulah, minyak diesel disebut juga *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau *Marine Diesel Fuel* (MDF).

7. Minyak Bakar (MFO)

Jenis BBM ini bukan merupakan produk hasil destilasi, melainkan hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak bakar memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel.

Pemakaian BBM jenis ini umumnya untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk steam power station dan beberapa penggunaan, yang dari segi ekonomi, lebih murah dengan penggunaan minyak bakar. Minyak Bakar tidak jauh berbeda dengan *Marine Fuel Oil* (MFO).

8. Biodiesel

Jenis bahan bakar ini merupakan alternatif bagi bahan bakar diesel berdasar-petroleum. Biodiesel terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak nabati atau hewan. Secara kimia, biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak.

Jenis Produk yang dipasarkan saat ini merupakan produk biodiesel dengan campuran 95 persen diesel petroleum dan mengandung 5 persen CPO yang telah dibentuk menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME).

9. Pertamina Dex

Jenis BBM ini ditujukan untuk mesin diesel modern yang telah memenuhi dan mencapai standar emisi gas buang EURO 2.

F. Spesifikasi Dasar Bahan Bakar Minyak

Setiap bahan bakar minyak memiliki sifat yang hampir sama, hanya mungkin perbedaan mencolok hanya pada berat jenisnya. Spesifikasi bahan bakar minyak adalah sebagai berikut :

1. Nilai Kalor

Jumlah panas yang dihasilkan oleh sejumlah bahan bakar mempunyai nilai maksimum tertentu. Jumlah panas yang dihasilkan maksimum oleh tiap satu satuan berat atau volume bahan bakar yang sempurna dinamakan nilai dinilai dalam kilo joule (kJ) tiap kg yaitu kJ/kg. Nilai kalor bahan bakar tergantung pada susunan hidrokarbonnya, nilai tersebut diukur dengan menggunakan alat *bomb calorimeter*.

Bila jumlah bahan bakar dibakar dalam tabung bomb calorimeter, hasil reaksi Hidrogen dengan Oksigen membentuk air. Uap air yang mengembun inilah yang dinamakan nilai kalor atas (*High Heating Value*). Jumlah panas yang ditimbulkan dari uap tersebut dinamakan nilai kalor bawah (*Low heating Value*). Nilai kalor bawah lebih kecil dari nilai kalor atas dan selisih dari kedua kalor tersebut menghasilkan kalor untuk mencairkan (mengembunkan) uap air yang terbentuk dari proses pembakaran. Nilai kalor atas bahan bakar lebih banyak digunakan dalam perhitungan karena lebih mencerminkan jumlah energi totalnya.

2. Berat Jenis (*Spesific Gravity*)

Berat Jenis (*Spesific Gravity*) adalah suatu perbandingan berat dari bahan bakar tertentu dengan berat dari air dengan isi yang sama dimana suhu dari bahan bakar dan suhu air adalah sama tingginya (rata-rata 60°F). Kegunaan berat jenis adalah menghitung berat bahan bakar, dimana berat isi telah diketahui.

3. Kadar Air

Kadar air yang banyak dalam bahan bakar akan menyebabkan terhambatnya proses pembakaran di dalam ruang bakar, terlebih air asin dalam bahan bakar akan merusak komponen di dalamnya.

4. Kandungan

Belerang Belerang pada dasarnya memiliki sifat yang merusak dalam proses pembakaran, belerang ini beroksidasi dan menjadi belerang oksida (SO₂) atau belerang trioksida (SO₃). Bila gas oksida tersebut menempel pada logam, maka akan berubah menjadi asam sulfat dan menyebabkan perkaratan.

5. Kadar Abu

Kadar abu adalah sisa minyak yang tertinggal setelah semua bagian yang dapat terbakar di dalam bahan bakar. Abu ini berasal dari butir debu di udara maupun partikel oksida logam dari proses pengilangan bahan bakar itu sendiri.

6. Viskositas

Viskositas adalah suatu ukuran dari besarnya perlawanan suatu bahan bakar untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dalam suatu fluida. Makin tinggi harga viskositas maka makin tinggi tegangan gesernya. Viskositas bahan bakar sangat erat kaitannya dengan injeksi pada *burner* dengan *nozzle* dan pengkabutan minyak pada karburator, viskositas juga bisa berhubungan erat terhadap kemampuan rawat mesin.

7. Volalitas

Volalitas merupakan faktor yang penting untuk memperoleh pembakaran yang memuaskan dapat ditentukan dengan uji distilasi ASTM D 86-90. Makin tinggi titik didih atau makin berat bahan bakar minyak makin tinggi nilai kalor dan makin diinginkan dari segi ekonomi. Tetapi Hidrokarbon berat merupakan sumber asap dan endapan karbon serta dapat mempengaruhi operasi mesin. Bahan bakar minyak harus mempunyai komposisi berimbang antara fraksi ringan dan fraksi berat agar diperoleh volalitas yang baik.

BAB 5 PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK

Tingginya penggunaan material plastik berbagai macam bentuk dan manfaat mulai dari kemasan makanan ringan hingga komponen produk teknologi tinggi yang digunakan oleh baik individu maupun perusahaan menjadikan masalah yang serius utamanya limbah buangan. Peningkatan jumlah dan jenis produk yang tersebar di dunia seiringan dengan produksi yang masif tentu memerlukan penanganan sampah plastik yang baik harus ditunjukkan oleh semua pihak baik masyarakat, pemerintah, hingga pihak perusahaan.

Bukan hanya pemerintah, sejatinya perusahaan memiliki tanggung jawab untuk mengelola sampah plastik, masyarakat juga memiliki tanggung jawab untuk memilah dan menjaga peredaran sampah dengan tidak membuang sampah secara sembarangan.

Melalui regulasi yang dibuat oleh pemerintah pengaturan alur pembuangan sampah dari kota ke kota dan penyebaran sampah plastik dunia dapat ditekan. Data statistik dan publikasi, kota-kota besar di dunia menghasilkan sampah plastik hingga 1,3 miliar ton setiap tahunnya. Data World Bank memperkirakan bahwa jumlah ini akan terus bertambah hingga 2,2 miliar ton pada tahun 2025.

Tabel 5.1 Jenis dan Sifat Plastik

Jenis Plastik	Pemanfaatan	Sifat	Daur Ulang Menjadi
PET	Minuman ringan, botol air, wadah, saus salad, nampan biskuit, dan wadah salad	Bening, kuat, tahan pelarut, penghalang gas dan kelembapan, melunak pada 80 °C	Isi bantal dan kantong tidur, pakaian, botol minuman ringan, karpet, insulasi bangunan

HDPE	Tas belanja, tas freezer, ember, sampo, botol susu, wadah es krim, botol jus, botol kimia dan deterjen, pipa pertanian, peti	Keras dan semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban,	Tempat sampah daur ulang, tempat sampah kompos
Polyvinyl Chloride (PVC)	Wadah kosmetik, pipa dan perlengkapannya, konduktor listrik, kemasan blister, pelapis dinding, terpal atap, botol, selang taman, sol sepatu, selubung kabel, kantong darah, dan pipa	Kuat, tangguh, melunak pada 80°C, bisa bening, bisa dilas pelarut.	Tempat sampah
Low density polyethylene (LDPE)	Kantong sampah, selang irigasi, film mulsa, cling wrap, kantong sampah, botol peras.	Lembut, fleksibel, permukaan lilin, tembus cahaya, melunak pada 70 °C, mudah tergores.	Bin liner, lembaran palet
Polypropylene (PP)	Piring microwave, kotak makan siang, pita kemasan, furnitur taman, ceret, botol dan bak es krim, tas keripik kentang, sedotan	Keras dan tembus cahaya, melunak pada 140 °C, tembus cahaya, tahan terhadap pelarut, serbaguna.	Pasak, tempat sampah, pipa, dan lembaran palet.
Polystyrene (PS)	Kotak CD, sendok garpu plastik, gelas imitasi, mainan rapuh murah, kotak video/ cangkir polistiren ber-busa, kemasan pelindung, bangunan, dan insulasi makanan	Jelas, seperti kaca kaku, buram, semi-keras, melunak pada suhu 95 °C, Dipengaruhi oleh lemak, asam, dan pelarut, tetapi tahan terhadap alkali, larutan garam, Penyerapan air rendah, bila tidak berpigmen jernih, tidak berbau dan tidak berasa .	Tempat sampah

Other	Otomotif dan kompo-nen peralatan rumah tangga, komputer, elektronika, botol pen-dingin, kemasan	Mencakup semua resin dan properti multi-bahan (misalnya, lami-nasi) yang bergantung pada plastik atau kom-binasi plastik	Tempat sampah
-------	---	--	---------------

Pada angka rata-rata, masyarakat Eropa Barat menggunakan sekitar 60 kilogram plastik per orang di setiap tahunnya dan sebagian Masyarakat Amerika Serikat bahkan mencapai 80 kilogram per orang per tahunnya, sebagian besar berupa kemasan plastik. Di masyarakat Asia menggunakan hingga 20 kilogram per orang. Di Indonesia, menurut data statistik persampahan domestik Indonesia, jenis sampah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5.4 juta ton per tahun atau 14 persen dari total produksi sampah.

Plastik sendiri memang sangat sulit terurai karena dari banyaknya plastik, hanya sekitar 20% yang sukses didaur ulang. Plastik sendiri dapat bertahan sangat lama di bumi hingga 60-70 tahun. Serta plastik yang dibuat pada awal tahun 2000-an kemungkinan masih ada hingga saat ini.

Jenis limbah ini harus diolah kembali agar tidak menjadi benda yang sulit diuraikan. Sifat plastik yang memakan waktu yang sangat lama tidak agar terurai oleh mikroorganisme tanah. Tentunya hal ini tidak baik bagi lingkungan. Maka dari itu pengolahan limbah plastik harus dilakukan dengan baik dan benar agar tidak mencemari lingkungan.

Masyarakat biasanya melakukan pemusnahan limbah plastik di lingkungan dengan cara membakar sampah yang menumpuk. Pemusnahan limbah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*) menghasilkan *Polychlorinated dibenzo-p - dioxine* merupakan jenis bahan kimia karsinogen penyebab kanker serta polutan dari emisi gas buang NO_x, CO_x, SO_x, partikulat, dioksin, furan dan uap plastik yang meningkatkan polusi udara serta menambah pemanasan global. Tujuan pengelolaan limbah plastik adalah agar limbah plastik tidak terus menumpuk terutama limbah plastik jenis kantong/kresek (LDPE) yang tidak bernilai jual sehingga tidak diambil oleh pemulung.

A. Daur Ulang Limbah Plastik

Daur ulang merupakan proses pengolahan kembali barang-barang yang dianggap sudah tidak mempunyai nilai ekonomis lagi melalui proses fisik maupun kimiawi atau kedua-duanya sehingga diperoleh produk yang dapat dimanfaatkan atau diperjualbelikan lagi. Daur ulang (*recycle*) sampah plastik

dapat dibedakan menjadi empat cara yaitu daur ulang primer, daur ulang sekunder, daur ulang tersier dan daur ulang quarter.

A. Daur ulang primer

Daur ulang primer adalah merupakan daur ulang tingkat pertama yang mendaur ulang limbah plastik menjadi produk yang memiliki kualitas yang hampir setara dengan produk aslinya. Daur ulang cara ini dapat dilakukan pada sampah plastik yang bersih, tidak terkontaminasi dengan material lain dan terdiri dari satu jenis plastik saja.

B. Daur ulang sekunder

Daur ulang tingkat kedua yang menghasilkan produk yang sejenis dengan produk aslinya tetapi dengan kualitas dibawahnya.

C. Daur ulang tersier.

Merupakan daur ulang tingkat ketiga mengubah sampah plastik menjadi bahan kimia atau menjadi bahan bakar.

D. Daur ulang quarter

Merupakan sebuah proses untuk mendapatkan energi yang terkandung di dalam sampah plastik dengan cara membakar plastik untuk diambil energinya.



Gambar 5.1 Limbah Plastik yang Sudah Dipilah Siap Untuk Diolah
(<https://www.rumahmesin.com/daur-ulang-plastik-sampah/>)

B. Cara Mengolah Limbah Plastik

Berikut beberapa cara mengolah limbah plastik agar bermanfaat dan tidak membahayakan lingkungan :

A. Memilih limbah plastik berdasarkan jenisnya.

Beragam limbah plastik biasanya berupa gelas, bungkus makanan, sedotan dan sebagainya. Hal ini akan memudahkan dalam mengolah limbah ini lagi di kemudian hari.

B. Membersihkan plastik dari kontaminan yang lainnya.

Apabila jenis botol minum mempunyai label yang terdapat stiker dan kertas di botolnya, maka sebaiknya bahan tersebut dibersihkan terlebih dahulu dari botol plastik. Jenis gelas yang memiliki tutup berbahan bukan plastik, maka bahan tersebut dibuang terlebih dahulu dari gelas.

C. Memakai mesin pencacah plastik.

Sistem pengolahan limbah plastik atau mesin penghancurnya memiliki peran yang sangat penting. Fungsinya adalah untuk menghancurkan hingga menjadi tekstur yang lebih kecil. Serpihan ini bisa dilelehkan dan akan menghasilkan biji plastik kembali.

D. Mengolah limbah plastik menggunakan bank sampah.

Di bank sampah, limbah-limbah plastik akan diolah kembali dengan menggunakan konsep daur ulang.

E. Mendaur ulang limbah plastik

Ada banyak jenis limbah anorganik yang masih bisa didaur ulang atau digunakan kembali. Limbah plastik apabila dihancurkan akan menghasilkan bahan bakar minyak.

C. Mengubah Plastik Menjadi Bahan Bakar

Konversi sampah plastik menjadi bahan bakar termasuk daur ulang tersier. Potensinya sebagai salah satu sumber energi memiliki prospek yang cukup bagus dimasa mendatang. Ada dua keuntungan sekaligus yang didapat ketika memanfaatkan plastik sebagai sumber energi, yaitu pertama mengurangi masalah sampah plastik yang menjadi isu lingkungan internasional dan kedua menghasilkan energi yang bisa digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.

Dengan konversi limbah plastik menjadi bahan bakar tersebut maka timbunan sampah plastik di lingkungan dapat berkurang. Disamping itu tetap

melakukan edukasi terhadap masyarakat mengenai bahaya plastik terhadap lingkungan.

Beberapa teknologi bisa digunakan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar diantaranya yaitu konversi ke bahan bakar padat, konversi ke bahan bakar cair dan konversi ke bahan bakar gas.

1. Mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar padat

Metode pirolisis ini akan memanaskan plastik pada suhu antara 350°C sampai 900 °C tanpa oksigen. Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas, bahan bakar cair dan arang atau karbon. Karbon yang merupakan produk sampingan dari proses pirolisis plastik bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Karbon tersebut apabila dicampur dengan batu-bara, dibentuk briket maka akan menghasilkan energi yang sangat pas sebagai energi yang bisa digunakan untuk memasak atau lainnya.

2. Mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak

Mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses peretakan (*cracking*). *Cracking* adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Hasil dari proses *cracking* plastik ini dapat digunakan sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Metode pirolisis ini akan memanaskan plastik pada suhu di atas 400°C tanpa oksigen. Pada suhu tersebut, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Pada saat proses tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek.

Terdapat 3 macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking*

a. Hydro cracking

Hydro cracking adalah proses *cracking* dengan mereaksikan plastik bersama hidrogen didalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada suhu antara 423 – 673 K dan tekanan hidrogen sebesar 3 –10 MPa. Dalam proses *hydro cracking* ini dibantu dengan katalis. Untuk membantu pencampuran dan reaksi biasanya digunakan bahan pelarut 1-methylnaphtalene, tetralin dan decalin. Beberapa katalis yang sudah diteliti antara lain alumina, amorphoussilica alumina, zeolite dan sulphate zirconia

b. Thermal cracking

Thermal cracking termasuk proses pirolisis, yaitu dengan cara

memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu antara 350°C sampai 900 °C. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene danaromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi.

c. Catalytic cracking

Cracking cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi peretakan. Dengan adanya katalis, maka dapat mengurangi suhu dan waktu reaksi.

3. Mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar gas

Sama dengan pembuatan karbon dan minyak, proses mengubah sampah plastik menjadi gas adalah dengan cara menggunakan metode pirolisis. Dengan menggunakan metoda *thermal cacking*, polimer y¹⁸ menjadi bahan dasar plastik dipanaskan dengan keadaan tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu antara 350°C sampai 900 °C. Dari proses ini akan dihasilkan kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene danaromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi termasuk minyak dan arang tentunya. Gas-gas yang dihasilkan bisa dipadatkan dan dimasukkan ke dalam tabung untuk dijadikan bahan bakar gas.

D. Teknologi Pengolahan Limbah Plastik

Proses mendaur ulang limbah plastik dilakukan dengan cara pengolahan yang lebih tepat. 4 (empat) teknologi *recycle* plastik yaitu *mechanical recycle*, *chemical recycle*, *inceneration*, dan *pyrolysis*.

1. Mechanical Recycle

Daur ulang plastik secara mekanis mengacu pada pengolahan limbah plastik menjadi bahan baku a⁵⁹ produk sekunder tanpa mengubah struktur kimia bahan secara signifikan. Pada prinsipnya, semua jenis termoplastik dapat didaur ulang secara mekanis dengan sedikit atau tanpa penurunan kualitas. Proses yang digunakan dalam teknologi *mechanical recycle* limbah plastik yaitu penggilingan, pencucian, pemisahan flotasi dan pengeringan. Jenis plastik yang direcycle pada proses secara mekanis ini antara lain polipropilen (PP), polietilen (PE) atau polietilen tereftalat (PET).

2. Chemical Recycle.

Daur ulang limbah plastik dengan bahan kimia (*chemical recyle*). Ini artinya limbah plastik diubah kembali menjadi bahan baku dengan cara-cara kimiawi untuk menjadi bentuk kimia untuk digunakan pada industri

kimia dan didisipasikan ke produk-produk di jaringan produksi bahan kimia terintegrasi. *Chemical Recycle* digunakan untuk mendaur ulang sampah plastik yang tidak didaur ulang secara mekanis karena alasan teknologi, ekonomi, atau ekologi. Bersama-sama daur ulang mekanis dapat meningkatkan efektivitas daur ulang secara keseluruhan dan berkontribusi pada biaya ekonomis untuk mengolah kembali limbah plastik. Contohnya dari daur ulang menggunakan *chemical recycle* adalah plastik dengan residu, fraksi sampah plastik campuran yang terdiri dari berbagai jenis plastik yang tidak akan dipilah lebih lanjut atau ban bekas yang tidak didaur ulang secara mekanis.

3. *Incineration*

Insinerasi yang biasa juga disebut *Established Thermal Treatment* biasanya melibatkan pembakaran limbah padat perkotaan termasuk juga plastik yang merupakan salah satu jenis limbah plastik perkotaan. Proses *inceneration* memerlukan jumlah oksigen yang cukup untuk mengoksidasi semua limbah plastik. Biasanya, suhu pembakaran di insinerator lebih dari 850°C dan limbah diubah menjadi karbon dioksida dan air. Setiap bahan yang tidak mudah terbakar (misalnya logam, kaca) tetap sebagai padatan, yang dikenal sebagai abu bawah, yang mengandung sejumlah kecil karbon sisa.

Persyaratan proses *inceneration* adalah sebagai berikut :

- a. Suhu pembakaran minimum dan waktu tinggal minimum produk pembakaran yang dihasilkan adalah 850 °C selama 2 detik.
- b. Senyawa emisi spesifik yang diukur untuk pelepasan ke atmosfer sebagai berikut:
 - a) Sulfur Dioksida (SO₂)
 - b) Nitrogen Oksida dan Nitrogen Dioksida (NO dan NO₂)
 - c) Hidrogen Klorida (HCl)
 - d) Hidrogen Flourida (HF);
 - e) Zat organik berbentuk gas yang dinyatakan sebagai Total Organic Carbon (TOC)
 - f) Karbon Monoksida (CO)
 - g) Debu
 - h) Logam berat
 - i) Dioksin dan Furan

- c. *Bottom Ash* yang dihasilkan dan terak yang dihasilkan memiliki kandungan karbon organik total kurang dari 3%.

4. Pirolisis

Untuk saat ini, beberapa teknologi dapat diterapkan untuk mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif, salah satunya diubah menjadi bahan bakar cair menggunakan metode pirolisis. Pirolisis adalah proses degradasi termal bahan tanpa adanya oksigen atau sedikit oksigen dimana sampah plastik dipanaskan dalam reaktor pada suhu tinggi di atas 400 ° C sehingga fase akan berubah menjadi uap dan kemudian mendingin kembali ke kondensor untuk mendapatkan bahan bakar cair dari sampah plastik. Dalam proses pirolisis, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah suhu di dalam reaktor dan desain kondensor.

E. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Campuran Aspal

Sifat dasar plastik yang merupakan polimer ringan, mempunyai daya tahan baik, tahan terhadap bakteri dan jamur tidak mudah terbiodegradasi menjadikannya banyak dijadikan berbagai macam barang untuk berbagai macam keperluan di masa sekarang. Mulai dari pembungkus makanan ringan hingga peralatan konstruksi berat menggunakan bahan plastik menggantikan daun sebagai pembungkus makanan tradisional hingga logam berat pada alat peralatan konstruksi berat.

Yang menjadi masalah adalah ketika plastik tersebut sudah dipergunakan atau selesai masa pakai maka plastik tersebut akan dibuang ke tempat sampah dan akhirnya menjadi limbah yang bermasalah karena tidak mudah terdekomposisi, bahkan mencapai ratusan tahun.

Sampah plastik tersebut ternyata bisa diolah menjadi aspal karena asal plastik tersebut memang berasal dari minyak bumi dan dapat larut ke dalam campuran aspal. Aspal bercampur dengan sampah plastik tersebut bahkan mempunyai daya tahan yang lebih baik dibandingkan dengan konstruksi aspal konvensional jenis tertentu.

Sebelum membicarakan campuran aspal dengan limbah plastik kita bahas dahulu jenis-jenis aspal dan tentunya juga bahan campuran serta proses pencampurannya sebagai bahan tambahan pembuatan konstruksi jalan.

1. Jenis-Jenis Aspal

Aspal adalah material semen hitam, padat atau setengah padat dalam konsistensinya dimana unsur pokok yang menonjol adalah bitumen yang terjadi secara alam atau yang dihasilkan dengan penyulingan minyak (Petroleum).

Aspal adalah sistem koloida yang rumit dari material hydrocarbon yang terbuat dari Asphaltenes, resin dan oil.

Biasanya berasal dari minyak mentah yang disuling, material aspal berwarna coklat tua hingga hitam dan bersifat melekat, berbentuk padat atau semi padat. Secara umum berasal dari sisa organisme laut dan sisa tumbuhan laut dari masa lampau yang tertimbun oleh pecahan batu batuan. Setelah berjuta juta tahun material organik dan lumpur terakumulasi dalam lapisan lapisan setelah ratusan meter, beban dari beban teratas menekan lapisan yang terbawah menjadi batuan sedimen. Sedimen tersebut yang lama kelamaan terproses menjadi minyak mentah senyawa dan *hydrocarbon*.



Gambar 5.2 Aspal Drum dalam Proses Transportasi

(<http://www.ilmuproyek.com/2018/09/jenis-jenis-aspal-dan-fungsinya.html>)

Dari bahan dasarnya, secara umum, jenis- jenis aspal yang ada di Indonesia adalah sebagai berikut:

a. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang berasal langsung dari alam tanpa melewati serangkaian proses pengolahan yang rumit. Penambangan aspal berbentuk batuan di Indonesia ada di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara.

b. Aspal Buatan

Aspal buatan adalah aspal yang dibuat dari hasil destilasi minyak bumi yang diproses dengan metode tertentu. Jenis aspal buatan yang sering digunakan di Indonesia antara lain:

- a) Aspal Keras yang mempunyai tingkat kekerasan tinggi. Penetrasi dari aspal Keras berkisar antara 60-80. Aspal keras ini biasanya digunakan untuk campuran hotmix perkerasan jalan aspal.
- b) Aspal Cair adalah aspal yang berbentuk cair berfungsi sebagai bahan perkerasan jalan meliputi lapis resap pengikat (*primecoat*) dengan aspal tipe MC-30, MC-70 atau MC-250. Selain itu juga digunakan untuk lapis pengikat (*tack coat*) dengan tipe RC-70 atau RC-250.
- c) Aspal Emulsi, adalah aspal yang berbentuk keras yang di dispersikan ke dalam air atau aspal cair yang dikeraskan memakai bahan pengemulsi. Hasil dari proses tersebut adalah mengandung muatan listrik positif (kationik), listrik negatif (anionik), serta tidak bermuatan listrik (nonionik). Kelebihan aspal emulsi dari aspal yang lain adalah mudah digunakan, memiliki daya ikat yang baik dan tahan terhadap cuaca.

2. Fungsi Aspal

Aspal berfungsi untuk mengikat batu-batuan dan agregat agar tidak terlepas dari permukaan jalan, baik disebabkan oleh beban lalu lintas maupun genangan air. Aspal juga berfungsi sebagai bahan pelapis jalan dan bahan pengikat agregat dengan cara mengisi ruang kosong yang terdapat di antara susunan agregat kasar, halus dan filler.

Penggunaan aspal memang sangat menentukan Kualitas dari proyek jalan. Selain dari material Aspal, kualitas Jalan juga sangat tergantung Metode pelaksanaan seperti Cara Pemadatan aspal.



Gambar 5.3 Pengerasan Jalan dengan Aspal
(<https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/922/tak-tembus-oleh-hujan-tak-retak-oleh-beban>)

Di Indonesia proyek pengaspalan jalan menggunakan 2 jenis aspal yaitu aspal drum dan aspal curah. Aspal drum adalah aspal keras atau berbentuk padat yang dimuat di dalam drum. Aspal jenis ini mempunyai kelebihan diantaranya:

- Harga dibandingkan dengan aspal curah.
- Dapat disimpan di lahan.
- Tidak perlu memerlukan persyarat khusus dalam penyimpanannya.
- Kemudahan pengiriman dengan berbagai moda transportasi, sehingga dapat menjangkau tempat-tempat terpencil.
- Kemudah monitoring stok
- Drum bekas aspal bisa dijual kembali.

Meskipun aspal drum masih memiliki banyak kelebihan, namun aspal hotmix diperlukan untuk pengerjaan jalan yang membutuhkan spesifikasi dan hal-hal teknis yang bersifat khusus.

3. Bahan Campuran Aspal

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampurkan dalam kondisi panas. Semua campuran dirancang dalam spesifikasi tersebut untuk menjamin bahwa asumsi rancangan yang berkenaan dengan kadar aspal yang cocok, rongga udara, stabilitas, kelenturan dan keawetan ketebalan terpenuhi.

Di Indonesia jenis campuran aspal panas yang lazim digunakan antara lain : Aspal Beton, Hot Rolled Sheet (HRS), dan Split Mastic Asphalt (SMA). Berikut adalah beberapa jenis campuran aspal yang masuk dalam spesifikasi campuran beraspal di Indonesia.

a. Latasir (Sand Sheet) Kelas A dan B

Digunakan sebagai pembuatan jalan lalu-lintas kelas ringan, campuran-campuran ini dikhususkan pada daerah dengan keberadaan agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan kelas A atau B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan. Untuk memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan, campuran latasir biasanya memerlukan penambahan filler atau pengisi. Latasir ini mempunyai ketahanan yang rendah terhadap alur (*rutting*), Latasir tidak boleh digunakan dengan lapisan yang tebal, pada jalan dengan lalu lintas berat dan pada daerah tanjakan.

b. Laston (*Hot Roller Sheet*)

Campuran ini mempunyai persyaratan kekakuan yang sama dengan tipikal yang disyaratkan untuk aspal beton konvensional jenis Laston (AC) yang bergradasi menerus. Laston terdiri dari dua macam campuran, yaitu Laston Lapis Pondasi (HRS-Base) dan Laston Lapis Permukaan (HRS Wearing Course) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm.

c. Laston (AC) Laston (Lapis Aspal Beton)

Laston adalah kependekan dari lapis aspal beton, merupakan campuran yang lebih peka terhadap variasi kadar aspal maupun variasi gradasi agregat daripada Laston (HRS). Aspal Beton (AC) terdiri dari tiga macam campuran, yaitu : Laston Lapis Aus 2 (AC-WC), Laston Lapis Aus 1 (AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm dan 37,5 mm.

d. Plastik Yang Digunakan dan Proses Pencampuran

Limbah sampah plastik yang merupakan buangan dari sektor domestik maupun industri, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk proses perkerasan jalan. Penambahan plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal. Plastik yang digunakan untuk pencampuran aspal adalah merupakan sampah plastik seperti Polyethylene, Polypropylene, dan Polystyrene, digunakan untuk melapisi agregat dengan proses softening pada suhu antara 110 °C dan 140 °C, dan tidak menghasilkan gas beracun pada saat proses softening.

Plastik yang telah melebur kemudian melapisi agregat panas pada suhu 160 °C dan menjadi Plastic Coated Aggregate (PCA). PCA yang terbentuk memiliki keunggulan yang lebih kuat untuk perkerasan jalan. PCA kemudian dicampur dengan aspal panas dengan berbagai tipe dan campurannya digunakan untuk konstruksi jalan.

Beberapa penelitian mengenai pencampuran beberapa jenis plastik masing-masing dengan aspal beton dengan metode *Plastic Coated Aggregate* dan *Polymer Modified Bitumen* menghasilkan kualitas aspal beton yang lebih baik dibandingkan dengan aspal beton tanpa campuran plastik. Menurut Luqman dan Fery (2017) suhu pencampuran optimum plastik dengan agregat untuk setiap jenis plastik yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2 Suhu softening dari berbagai variabel plastik

No	Variabel plastik	Rentang Suhu
1.	Polypropylene (PP)	160-170 °C
2.	HDPE	190-200 °C
3.	Campuran PP dan HDPE	180-190 °C

e. Dampak Negatif Pencampuran Aspal dan Plastik

Dampak negatif pencampuran aspal dan plastik dalam pembangunan konstruksi jalan adalah terkait potensi paparan terhadap racun. Bitumen diproses pada suhu maksimum 160 derajat celcius, yang cukup tinggi untuk melelehkan plastik tapi terlalu rendah untuk memastikan degradasi berbagai jenis racun.

Masalah yang lebih besar dari teknologi ini adalah polusi mikro-plastik. Plastik yang digunakan dalam proses pengolahan aspal hanya berubah secara fisik dan membentuk lapisan tipis pada batuan. Plastik tersebut tidak benar-benar terurai. Pelapukan jalan sepanjang waktu berpotensi memecah plastik menjadi partikel mikro plastik yang masuk ke ekosistem.

Partikel mikro plastik adalah merupakan racun (*toxic*) yang bila masuk ke dalam ekosistem berpotensi dikonsumsi oleh makhluk hidup lainnya termasuk manusia. Dalam dunia medis, mikro plastik dapat berinteraksi dengan partikel darah, mengganggu sistem saraf, hormon dan kekebalan tubuh, hingga dapat meningkatkan risiko kanker.

F. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi *Ecobrick*

Kata *ecobrick* sendiri berasal dari kata *ecology* disingkat dengan *eco* yang berarti lingkungan dan *brick* yang diterjemahkan artinya batu bata. Jika *eco* dan *brick* digabung menjadi *ecobrick* artinya secara umum menjadi sebuah bata yang ramah lingkungan. Juga dikenal sebagai *bottle brick* atau *ecoladrillo*. Istilah ini merupakan nama lain dari hasil pengelolaan sampah plastik yang menjadi sebuah alternatif pengganti batu bata. Disebut alternatif karena bisa digunakan sebagai pengganti bagi batu bata konvensional dalam mendirikan bangunan atau hal-hal lainnya yang biasa menggunakan batu bata dalam pengerjaannya.



Gambar 5.4 Membangun Rumah dengan Ecobrick

(<https://kaltimoday.co/5-desain-ecobrick-ini-wajib-kamu-coba-bisa-untuk-bikin-panggung/>)

Sejatinya *ecobrick* adalah hasil limbah atau sampah botol plastik yang diisi padat dengan limbah yang juga plastik untuk membuat blok bangunan sebagai alternatif pengganti batu bata. *Ecobrick* adalah batu bata hasil teknologi sederhana berbasis kolaborasi yang menyediakan solusi penanganan limbah padat tanpa biaya untuk individu, rumah tangga, sekolah, dan masyarakat.

Jika *reuse* dan *reduce* sudah sangat sulit, maka *ecobrick* merupakan salah satu solusi paling sederhana tanpa menggunakan alat yang rumit secara teknologi. *Ecobrick* mampu memberikan kehidupan baru bagi limbah plastik dan cara lain untuk memanfaatkan sampah-sampah plastik tersebut selain mengirimnya ke landfill (pembuangan akhir). Dengan *ecobrick* masyarakat memiliki kesempatan untuk mengubah plastik menjadi bermanfaat bagi masyarakat itu sendiri.

Kebiasaan atau bisa dikatakan bahwa saat ini, di era modern, plastik adalah merupakan hal umum yang dimanfaatkan masyarakat untuk berbagai keperluan. Di banyak kegiatan, pemanfaatan plastik sebagai kemasan dilakukan oleh industri mulai dari yang berskala kecil sampai yang ultra modern. Pun, pada umumnya banyak masyarakat yang mengonsumsi makanan atau produk apapun yang dikemas plastik.

Tidak mudah untuk meninggalkan penggunaan plastik 100% karena faktanya hampir semua yang dijual di pertokoan baik modern maupun tradisional menggunakan plastik sebagai pembungkus karena sifat kepraktisannya. Kadang kita berusaha kreatif dan mengurangi sampah dengan membuat sabun sendiri di rumah contohnya, tapi bahan-bahan yang digunakannya pun masih menggunakan plastik.

1. Pemanfaatan Ecobrick

Teknologi ecobrick memungkinkan kita untuk tidak menjadikan plastik di salah satu industrial *recycle system*, dengan begitu akan menjauhi biosfer dan menghemat energi. Ecobrick menjaga bahan-bahan plastik tersebut melepaskan CO₂ yang pada akhirnya akan menyumbang pemanasan global.

Banyak aplikasi yang didapat dari pemanfaatan ecobrick mulai dari hiasan sederhana, prabot atau furniture ramah lingkungan hingga konstruksi rumah yang rumit dan estetik dapat dikerjakan. Hanya diperlukan ketekunan dan sentuhan seni menjadikan ecobrick banyak manfaat.



Gambar 5.5 Sofa Dibuat dari Rangkaian Ecobrick

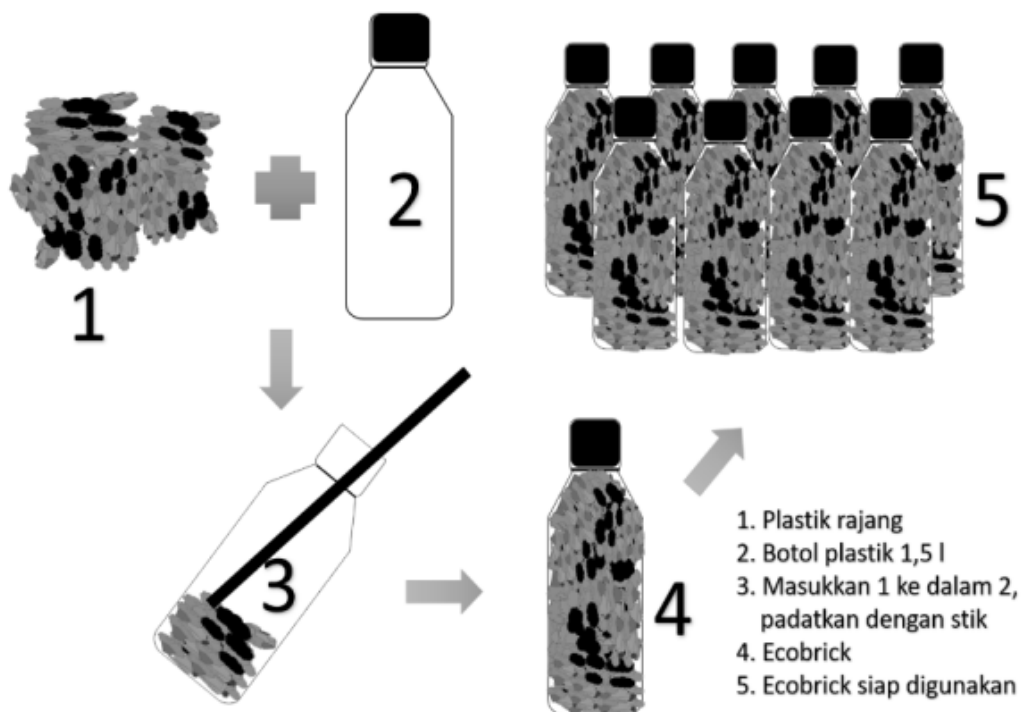
(<https://majalahsora.com/mengembangkan-ecobrick-di-sekolah/>)

2. Cara Membuat Ecobrick

Pada dasarnya ecobrick adalah sebuah ide kreatif dari sampah plastik yang banyak dibuang percuma. Tidak menggunakan teknologi khusus, tetapi walaupun menjadi sebuah industri hanya diperlukan sebuah alat pencacah plastik agar dapat dikerjakan dengan cepat.

Prosedur operasi standar dari pembuatan ecobrick adalah sebagai berikut:

- a. Kumpulkan semua jenis plastik mulai dari plastik mulai dari bungkus permen, plastik kresek, botol bekas atau plastik apa saja.
- b. Pastikan plastik yang akan diolah dengan cara digunting atau dicacah adalah plastik yang bersih, kering, tidak berbau menyengat, tidak beracun.
- c. Olah plastik-plastik dengan cara digunting kecil atau dicacah dengan mesin pencacah.
- d. Masukkan plastik cacahan ke dalam botol PET bekas minuman yang juga bersih dan kering agar tidak tumbuh bakteri yang bisa berbahaya.
- e. Padatkan isi botol dengan menggunakan kayu atau stik, putar dan tekan agar tidak terdapat rongga sehingga memiliki sifat seperti balok kayu.
- f. Uji kepadatan dengan menekan botol dari luar, ketika ditekan tidak kempes juga tidak mengeluarkan bunyi.
- g. Satukan botol-botol yang sejenis dan dengan kreatifitas bisa dibuat seperti yang diinginkan.



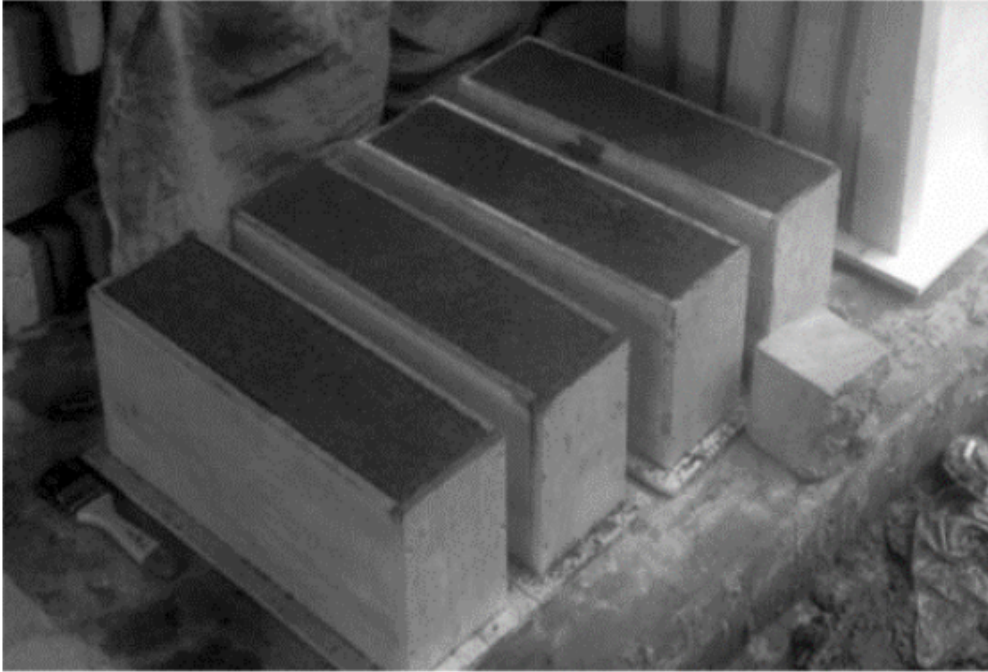
Gambar 5.6 Cara Membuat Ecobrick

G. Pengolahan Sampah Menjadi Berbagai Keperluan

Jumlah manusia semakin bertambah dan kebutuhan juga terus meningkat baik kuantitas maupun kualitasnya. Salah satu kebutuhan yang sangat penting adalah papan atau perumahan berupa bahan bangunan tidak pernah berkurang. Untuk pembuatan rumah atau hunian maupun gedung-gedung memerlukan batu bata yang akan disusun membentuk dinding dengan bantuan perekat semen. Batu bata konvensional yang menggunakan tanah liat dibakar masih banyak digunakan utamanya untuk rumah-rumah pribadi dengan luas terbatas. Tetapi dengan semakin besarnya bangunan maka kendala penggunaan batu bata konvensional menjadi terasa utamanya dari segi pengadaan yang terbatas, waktu pemasangan dan banyaknya material pendukung yaitu pasir dan semen yang digunakan untuk merekatkan batu bata.

Atas dasar tersebut di atas maka penggunaan batako menjadi solusi atau alternatif untuk menghemat baik dari segi waktu pemasangan dan efisiensi bahan serta ongkos pasang. Batako sendiri adalah merupakan bahan bangunan yang biasanya digunakan untuk pasangan dinding atau dinding tembok. Biasanya terbuat dari blok semen di tekan (*press*) dengan ukuran yang lebih besar dari batu-bata konvensional.

Jenis batako ada 2 golongan, yaitu batako padat dan batako berlubang. Sifat peredam panas yang dimiliki oleh batako berlubang lebih baik daripada batako padat dengan menggunakan bahan dan ketebalan yang sama. Batako mempunyai sifat-sifat panas dan ketebalan total yang lebih baik daripada beton padat. Batako dapat disusun 4 kali lebih cepat dan cukup untuk semua penggunaan yang biasanya menggunakan batu bata. Dinding yang dibuat dari batako mempunyai keunggulan dalam hal meredam panas dan suara.



Gambar 5.7 Proses Pembuatan Batako Campuran Plastik

<https://www.uii.ac.id/batako-dinding-eco-friendly-jadi-solusi-kurangi-limbah-botol-plastik/>

Dengan segala kelebihanannya ternyata batako bisa dibuat dari campuran sampah plastik. Penggunaan plastik limbah sebagai campuran pembuatan batako bahkan meningkatkan kekuatan dan juga menurunkan bobot dari batako sehingga bisa mengurangi beban pondasi. Dari segi lingkungan tentu saja penggunaan limbah plastik akan mengurangi jumlah sampah yang merusak lingkungan.

1. Pembuatan Batako

Pembuatan batako melalui *recycling* limbah plastik untuk mengurangi limbah plastik yang ada. Botol yang berasal dari minuman air mineral atau minuman bersoda jenis *Poly Ethylene Terephthalate* (PET) yang paling tepat digunakan karena plastik tersebut memiliki tekstur kaku dan lebih keras. Dengan menggunakan mesin cacah sederhana plastik dihancurkan sehingga menjadi serbuk-serbuk plastik. Serbuk limbah plastik PET tersebut ini dibuat dengan ukuran maksimum 4.75 mm.

Campurkan serbuk limbah plastik tersebut sebanyak maksimal 25% dengan campuran semen dan pasir sesuai ketentuan untuk kemudian dicetak seperti biasa dengan mesin cetak batako. Dari hasil penelitian menunjukkan jika kandungan PET sebesar 0% – 25% masih dapat digunakan sebagai batako

dinding dengan kelas Mutu IV atau sesuai untuk mutu bangunan sederhana seperti bangunan tempat tinggal.

Batako campuran limbah PET akan mempunyai bobot yang lebih ringan dari batako pada umumnya sehingga saat digunakan untuk bahan bangunan dapat mengurangi beban bangunan secara keseluruhan. Di sisi lain, apabila terjadi bencana alam seperti misalnya gempa maka kerusakan bangunan yang menyebabkan probabilitas korban jiwa dapat ditekan karena kerusakan paling besar adalah dari sisi non struktural, seperti lantai, dinding, tangga, serta atap.

Karena batako limbah PET beton ini lebih ringan dibandingkan genteng beton konvensional, sehingga telah dipastikan aman bagi penghuni bangunan tersebut. Tidak hanya ringan batako limbah PET juga cukup kuat..

Proses pembuatan batako dimulai dengan proses sortir jenis plastik yang akan digunakan sebagai bahan campuran pembuatan batako dengan proses sebagai berikut:

- a. Pilih plastik sesuai dengan jenisnya karena setiap jenis akan menghasilkan produk yang berbeda. Plastik jenis styrofoam misalnya akan menghasilkan batako dengan berat lebih ringan tetapi kurang di kekuatan.
- b. Bersihkan plastik dari kotoran yang menempel.
- c. Rajang plastik berbentuk serpihan kecil.
- d. Timbang plastik kaca sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan
- e. Campur serpihan plastik sesuai dengan komposisi teknis secara homogen
- f. Cetak ke media cetak sesuai dengan standar
- g. Keringkan batako plastik tersebut yang sudah dikeluarkan dari cetakan selama 1-2 hari di ruang terbuka.
- h. Batako siap digunakan

2. Pembuatan Plastik Komposit Beton

Tidak banyak berbeda dengan pembuatan batako, pembuatan komposit beton ini dibuat dari lelehan plastik yang dicampur dengan pasir. Komposit beton dari limbah plastik ini dikembangkan. Untuk memperoleh komposit beton ini digunakan bijih botol plastik jenis polietilen tereftalat (PET). Limbah plastik tersebut kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah

plastik untuk selanjutnya dipanaskan dengan suhu 410-580°Celsius selama sekitar 30 menit. Langkah berikutnya lelehan plastik dicampur dengan pasir elod. Selanjutnya, dicetak sesuai keinginan dan dikeringkan selama tujuh hari.



Gambar 5.8 Plastik Komposit Beton

(<https://www.liputan6.com/regional/read/4097933/jadi-penyabet-emas-wintex-2019-ini-keistimewaan-komposit-beton-dari-sampah-plastik>)

Tidak menggunakan semen, lelehan plastik tersebut digunakan sebagai pengganti semen. Produk komposit beton yang dihasilkan ini memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan produk sejenis di pasaran. Komposit beton plastik ini lebih kuat daripada beton yang biasanya digunakan. Komposit beton ini nantinya dapat digunakan untuk paving blok.

Produk komposit beton dari lelehan plastik ini mempunyai kuat tekan 15,52 MPa dengan pengeringan selama tujuh hari. Sedangkan kuat tekan beton M15 atau produk yang telah ada di pasaran dengan pengeringan selama 28 hari sebesar 15 MPa.

BAB 6 PIROLISIS

A. Pirolisis

Pirolisis (*pyrolysis*) atau bisa disebut juga dengan termolisis (*thermolysis*) adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Di dalam pirolisis terjadi sebuah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa kehadiran oksigen. Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya.

Pirolisis bermanfaat untuk berbagai macam keperluan, mulai dari menghasilkan arang, karbon aktif, metanol, dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengkonversi etilena diklorida menjadi vinil klorida untuk membuat PVC, untuk menghasilkan kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis dan biochar, untuk mengubah limbah plastik kembali menjadi minyak dan sebagainya.

Diantara banyak manfaat pirolisis, salah satu yang penting adalah mengatasi limbah sampah plastik yang saat ini menjadi isu lingkungan. Sampah plastik yang saat ini menjadi limbah berbahaya semakin lama semakin banyak dari segi kualitas. Secara teori, sampah botol plastik jenis PET misalnya baru akan terurai sekitar 450 tahun. Bisa dibayangkan berapa sampah plastik yang akan bertambah setiap tahunnya jika tidak dilakukan pencegahan dini. Sampah plastik yang tidak terpungut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode penimbunan dengan tanah (*landfill*) atau dibiarkan saja di tempat terbuka (*open dump*). Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), juga kurang efektif dan beresiko menimbulkan masalah lain yakni polusi udara. Pembakaran plastik menyebabkan munculnya polutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO , NO_x , dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya yang berbahaya dan beracun.

Untuk itu diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik secara lebih ramah lingkungan dan menghasilkan nilai tambah karena bisa diubah dalam bentuk lain bernilai ekonomi. Pemanfaatan teknologi pirolisis salah satunya adalah merupakan jawaban yang tepat dalam mengatasi limbah plastik untuk di daur ulang. Konversi sampah plastik menjadi minyak bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Bila diproduksi secara massal tentunya bisa menjadi substitusi bahan bakar fosil yang keberadaannya di bumi semakin menipis dan harga yang semakin mahal.

Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan walaupun masih belum dalam skala industri karena beberapa kendala diantaranya masih belum terpenuhinya skala ekonomis.



Gambar 6.1 Mesin Pirolisis Skala Industri

(<https://splainex.com>)

B. Jenis-Jenis Pirolisis

Proses pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu proses pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*), proses pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*), pirolisis kilat (*flash pyrolysis*) dan pirolisis katalik biomassa. Kategori sebagai proses cepat, lambat atau kilat tergantung dari waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan bakar ke suhu pirolisis apakah cepat atau lambat dari waktu reaksi pirolisis. Sedang pirolisis katalik biomassa digunakan hanya untuk

membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sampel yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

1. Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*)

Pirolisis cepat didefinisikan sebagai termolisis dimana suatu proses materi seperti biomassa, dipanaskan dengan cepat sampai suhu yang tinggi tanpa adanya oksigen. Massa dipanaskan dengan waktu yang cepat sehingga mencapai suhu puncak pirolisis sebelum bahan baku terurai. Tujuan dari proses ini adalah memaksimalkan produk cair yang dihasilkan. Tingkat pemanasan bisa mencapai 1000°C dengan laju pemanasan sebesar 10°C per detik dengan ketentuan bila produk utamanya adalah minyak maka suhu puncaknya harus di bawah 650°C. Namun jika produk berupa gas yang diinginkan maka suhu puncaknya harus 1000°C. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

2. Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*)

Tujuan dari pirolisis lambat adalah karbonisasi dengan arang atau karbon yang menjadi tujuannya. Pada proses ini juga memungkinkan waktu yang cukup untuk proses pengkondensasian gas menjadi minyak dan menghasilkan gas yang tidak dapat dikondensasi. Pada saat pirolisis lambat berlangsung massa dipanaskan perlahan dengan tidak adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah sekitar 400°C dengan periode waktu yang lama. Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan.

3. Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*).

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Pirolisis kilat pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 - 250µm.

4. Pirolisis Katalitik Biomassa.

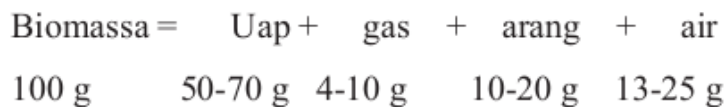
Pirolisis ini untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sampel yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali.

C. Tingkatan Pirolisis

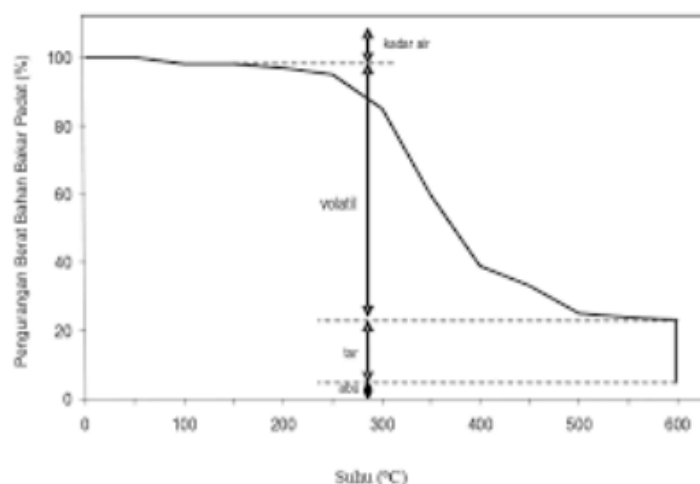
Dalam pirolisis terdapat dua tingkatan proses yaitu pirolisis primer yang terjadi pada bahan baku dan pirolisis sekunder terjadi pada partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer.

A. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku dan berlangsung pada suhu kurang dari 600° Celsius. Titik hasil penguraian yang utama adalah karbon atau arang. Pirolisis primer berdasarkan kecepatan reaksinya dibedakan atas dua, yakni:

- a. Pirolisis Primer Lambat, yakni proses pirolisis yang terjadi pada proses pembuatan arang. Laju pemanasan lambat suhu kisaran antara 150 sampai 300°C. Reaksi utama yang terjadi adalah dehidrasi atau kehilangan air dan hasil reaksi keseluruhan adalah karbon padatan arang air H₂O karbon monoksida CO dan karbon dioksida CO₂.
- b. Pirolisis Primer Cepat, adalah pirolisis yang terjadi pada suhu lebih dari 300°C. Proses pirolisis jenis ini akan menghasilkan produk berupa uap air, gas, dan 50% - 70% uap minyak pirolisis (PPO = primary pyrolysis oil) yang menyusun ratusan senyawa oligomer, monomer, monomer penyusun selulosa dan lignin. Secara umum reaksi tersebut adalah sebagai berikut.



B. Pirolisis sekunder yaitu pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas atau uap hasil pirolisis primer dan berlangsung diatas suhu 600°C. Hasil pirolisis pada suhu ini adalah karbon monoksida (CO) hidrogen (H₂) senyawa-senyawa hidrokarbon dan tar sekitar 1 sampai 6%. Secara umum berlangsungnya pirolisis primer biomassa ditampilkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 6.2 Diagram Penguraian Bahan Bakar Padat Karena Pirolisis

D. Parameter Kinerja Reaktor Pirolisis

Ada beberapa parameter yang dapat dihitung dari alat reaktor pirolisis setelah dilakukan pengujian, diantaranya sebagai berikut :

1. Kalor Bahan Bakar

Adalah jumlah kalor bahan bakar yang diterima pada saat pemanasan alat reaktor pirolisis. Penentuan kalor bakar dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Q_{bb} = m_{bb} \times N_{bb} \text{ (kJ)} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana : Q_{bb} = kalor bahan bakar yang diterima reaktor (kJ/s)

m_{bb} = masa bahan bakar (kg/s)

N_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

2. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah dari bahan bakar yang digunakan dalam operasi dibagi dengan waktu operasi. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{bb} = \frac{m_{bb} \text{ (kg)}}{t \text{ (menit)}} \quad K_{bb} = \frac{m_{bb} \text{ (kg)}}{t \text{ (menit)}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : K_{bb} = Konsumsi bahan bakar (kg/menit)

m_{bb} = massa bahan bakar (kg)

t = waktu operasi (menit)

3. Rendemen

Rendemen juga merupakan salah satu parameter yang penting untuk mengetahui hasil dari suatu proses. Rendemen tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rendemen (\%)} &= \frac{m_{\text{asap cair}} \text{ (kg)}}{m_{\text{bahan baku}} \text{ (kg)}} \times 100\% \\ \text{Rendemen (\%)} &= \frac{m_{\text{asap cair}} \text{ (kg)}}{m_{\text{bahan baku}} \text{ (kg)}} \times 100\% \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

Dimana : Rendemen = Perbandingan kuantitas asap cair yang dihasilkan (%)

$m_{\text{asap cair}}$ = massa asap cair (kg)

$m_{\text{bahan baku}}$ = massa bahan baku biomassa untuk pirolisis (kg)

4. Kinerja Alat Reaktor

Kinerja alat reaktor pirolisis dapat dihitung dengan menentukan jumlah asap cair yang dihasilkan terhadap jumlah energi yang dipakai dalam proses pirolisis, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kinerja alat} &= \frac{\text{asap cair yang dihasilkan (ml)}}{\text{energi yang dipakai (kcal)}} \\ \text{Kinerja alat} &= \frac{\text{asap cair yang dihasilkan (ml)}}{\text{energi yang dipakai (kcal)}} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

5. Intensitas Energi

Intensitas energi merupakan parameter yang dapat menilai efisiensi energi dari suatu alat. Intensitas energi yaitu jumlah konsumsi energi per hasil produk. Maka dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{jumlah konsumsi energi (kWh)}}{\text{asap cair yang dihasilkan (ml)}} \\ \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{jumlah konsumsi energi (kWh)}}{\text{asap cair yang dihasilkan (ml)}} \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

E. Reaktor Pirolisis

Reaktor adalah tempat berlangsungnya suatu reaksi kimia baik berupa tangki, pipa, menara distilasi, menara bahan isian dan lain-lain. Tempat berlangsungnya suatu reaksi harus memenuhi syarat-syarat tertentu diantaranya :

- Memungkinkan adanya turbulensi massa
- Memungkinkan terjadinya transfer panas dan massa

Reaktor Pirolisis merupakan salah satu alat pengurai senyawa organik yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar dengan suhu sekitar 300 - 600 °C. Reaktor pirolisis dibalut dengan selimut dari bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebih, memakai bahan bakar kompor minyak tanah, gas, arang yang sudah memerah sebagai pemancing pembakaran. Proses pirolisis menghasilkan zat dalam bentuk padat, cairan dan gas.

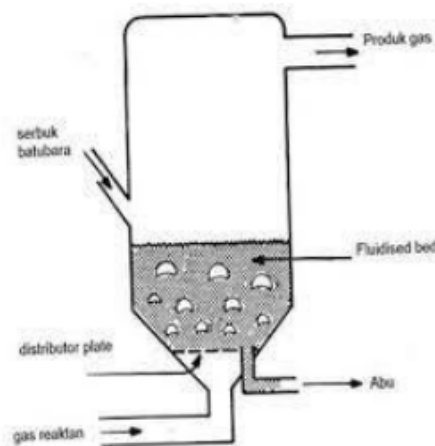
Prinsip kerja dari reaktor pirolisis adalah mengkonversi biomassa di dalam tabung reaktor menggunakan panas tanpa adanya oksigen. Dalam proses tersebut akan terjadi pemecahan struktur kimia dari biomassa menjadi fase gas. Saat proses pirolisis berlangsung biomassa akan menghasilkan uap panas atau asap hasil pembakaran. Akibat dari perbedaan tekanan yang disebabkan

perbedaan temperatur antara reaktor pirolisis dan kondensor maka asap mengalir menuju pipa yang dihubungkan dengan kondensor. Sebelum sampai ke kondensor, asap panas yang melewati pipa mengalami pendinginan karena pipa dibentuk tipe *shell and tube* melewati media pendingin berupa air. Reaksi yang terjadi adalah pengembunan yakni perubahan fasa dari asap mejadi embun/ cair.

Ada beberapa jenis reaktor pirolisis yang ada saat ini. Jenis – jenis tersebut memiliki berbagai macam fungsi dengan berbagai macam kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemanfaatannya tergantung apa yang akan di proses dan produk seperti apa yang diinginkan apakah berupa cair atau gas. Berikut beberapa jenis reaktor pirolisis yang ada saat ini:

a. *Fixed or Moving Bed.*

Reaktor pirolisis jenis ini panas yang dihasilkan bersumber dari luar dan bahan baku (massa) berada di sebuah ruangan (tabung) hampa udara.

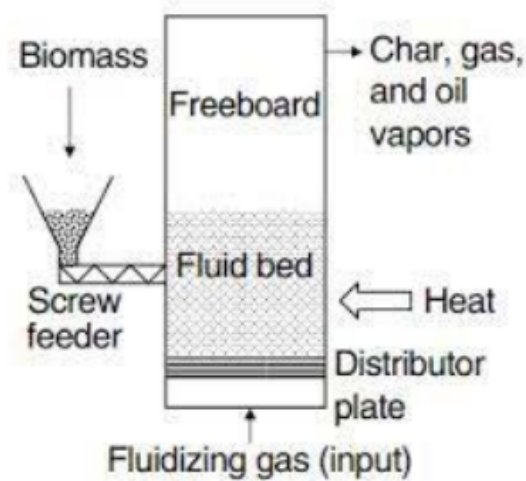


Gambar 6.3 Skema Reaktor *Fixed*

(Prabir Basu, 2010)

b. *Bubbling Fluidized Bed.*

Pirolisis jenis ini menggunakan media pasir (biasanya pasir silika) yang bersuhu tinggi. Bahan baku (massa) di masukkan ke dalam pasir tersebut sehingga terjadi proses pemanasan bahan baku pirolisis. Keuntungan dari jenis ini adalah suhu yang dapat dikontrol dengan mudah.

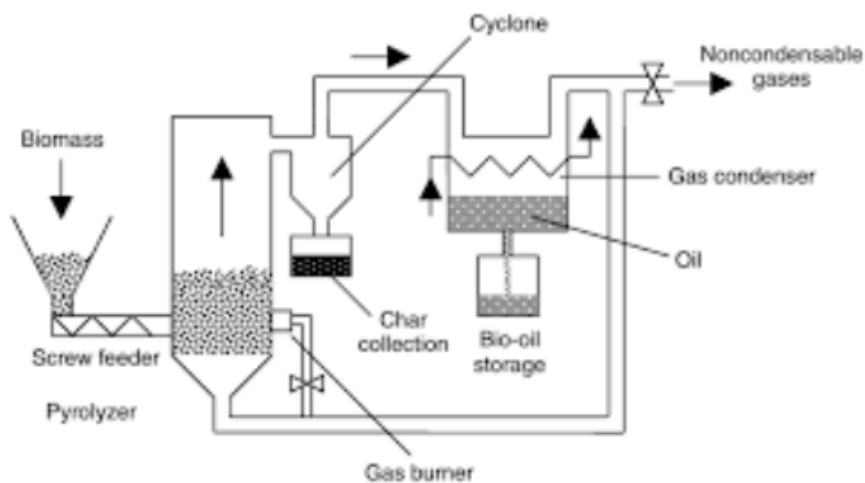


Gambar 6.4 Skema Reaktor *Bubbling Fluidized Bed*

(Prabir Basu, 2010)

c. *Circulating fluidized bed.*

Bahan baku pirolisis pada jenis ini akan mendapatkan tekanan dari bawah tabung reaktor berupa gas (biasanya gas N_2), kemudian produk dari bahan baku tersebut naik ke atas reaktor dan akan mengalami proses pemanasan di bagian pyrolyzer lainnya. Proses ini akan berlangsung terus menerus sampai suhu dan waktu yang diinginkan. Keuntungan dari tipe ini adalah komponen - komponen yang tidak diinginkan dari bahan baku pirolisis dapat dengan mudah dipisahkan



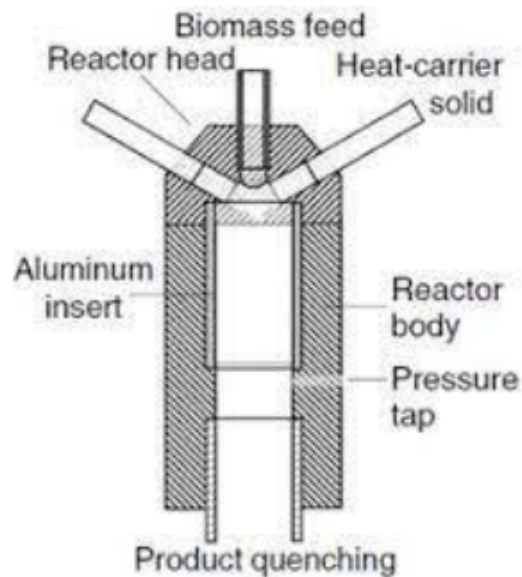
Gambar 6.5 Skema Reaktor *Circulating Fluidized Bed*

(Prabir Basu, 2010)

d. *Ultra-Rapid Pyrolizer.*

Pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal bahan baku yang singkat adalah syarat utama untuk menghasilkan produk cair yang tinggi pada proses ini. Gas Nitrogen sebagai gas inert dipanaskan pada suhu 100oC dan disuntikkan ke dalam reaktor dengan kecepatan yang sangat tinggi yang akan bertumbukkan dengan bahan baku yang di masukkan dari atas reaktor.

Selain itu pada jenis reaktor ini juga media padatan seperti pasir dapat dipakai sebagai media pemanasan secara eksternal.

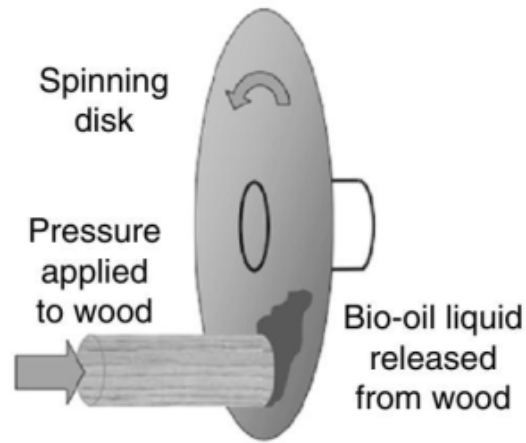


Gambar 6.6 Skema Reaktor *Ultra-Rapid Pyrolizer*

(Prabir Basu, 2010)

e. *Ablative Pyrolizer.*

Proses ini melibatkan bahan baku pirolisis dan dinding reaktor yang berputar dan saling bergesekan dengan cara bahan baku ditekan ke dinding reaktor tersebut sehingga akan terjadi proses pemanasan akibat gesekan tersebut. Keuntungan dari cara ini adalah memungkinkan perpindahan panas tanpa adanya hambatan dari dinding ke bahan baku pirolisis sehingga produk cair yang dihasilkan akan meleleh keluar dari bahan baku.

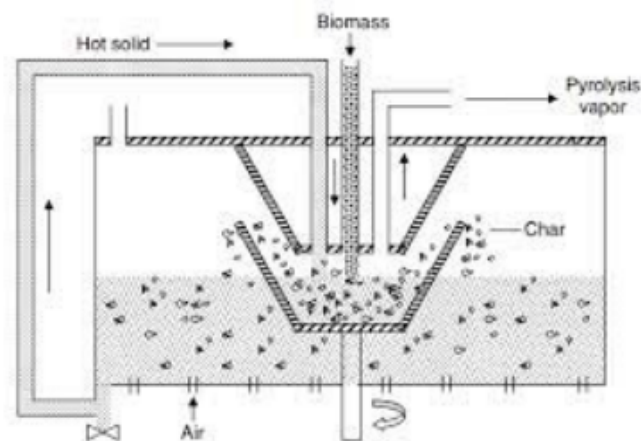


Gambar 6.7 Skema Reaktor *Ablative Pyrolyzer*

(Prabir Basu, 2010)

f. *Rotating cone.*

Cara kerja proses pirolisis ini adalah, bahan baku pirolisis diumpangkan dari atas ke bawah menuju kerucut yang sedang berputar di dalam reaktor. Gaya sentrifugal mendorong partikel ke atas dinding yang panas, sedangkan produk berupa gas akan menguap ke atas reaktor. Keuntungan proses ini adalah proses pemanasan dapat cepat berlangsung



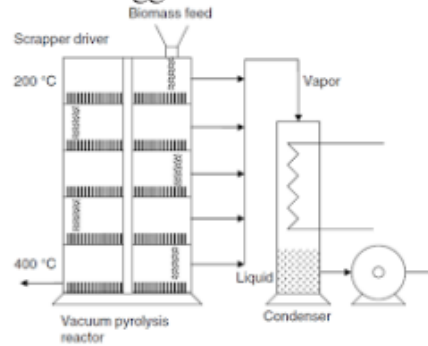
Gambar 6.8 Skema Reaktor *Rotating Cone*

(Prabir Basu, 2010)

g. *Vacuum Pyrolyzer*

Vacuum Pyrolyzer terdiri dari sejumlah plat melingkar yang dipanaskan. Plat bagian atas bersuhu sekitar 200°C, sedangkan plat bagian bawah bersuhu sekitar 400°C. Massa diumpangkan dari atas piringan plat dan turun ke bawah

secara berturut-turut, dan selama proses tersebut bahan baku mengalami proses pengeringan. Tidak ada gas pembawa (inert) dalam reaktor tipe ini, hanya char saja yang akan tertinggal di dalam reaktor bagian bawah.



42

Gambar 6.9 Skema Reaktor *Vacuum Pyrolyzer*

(<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/15161/6.%20BAB%20II.pdf?sequence=6&isAllowed=y>)

F. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan didalam pirolisis utamanya adalah limbah. Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari sebuah proses industri yang dilakukan oleh domestik maupun industri.

G. Komponen Yang Memengaruhi Pirolisis

Sebagai sebuah proses kimia, pirolisis antara satu bahan dengan bahan yang lain mempunyai perbedaan dalam hal kecepatan perubahan. Perbedaan ini disebabkan antara lain:

1. Komposisi bahan yang diolah

Setiap bahan atau konstituen utama biomassa dan limbah yang akan diolah memiliki suhu dekomposisi termal yang berbeda. Ini artinya keragaman komposisi material akan berbeda waktunya jika mendapat perlakuan yang sama

2. Suhu proses

Suhu dalam sebuah proses pirolisis mempunyai pengaruh besar terhadap hasil yang didapat. Ini disebabkan karena suhu adalah merupakan faktor yang menentukan keberhasilan sebuah proses pirolisis. Temperatur pirolisis yang terlalu tinggi menghasilkan jumlah gas yang tidak dapat terkondensasi (syngas, gas sintetis), sedangkan temperatur yang lebih rendah mendukung produksi produk padat berkualitas tinggi (arang, bio-batubara, bahan bakar torrefied) tetapi memakan waktu yang terlalu lama.

3. Waktu tinggal material di ruang pirolisis

Waktu tinggal material yang akan diolah dalam ruang pirolisis akan memengaruhi komposisi uap dalam fase terkondensasi / tidak terkondensasi. Hal ini disebabkan karena lamanya waktu akan berpengaruh terhadap tingkat konversi termal dari produk padat yang diterima.

4. Ukuran partikel dan struktur fisik

Secara umum, bahan dengan ukuran partikel yang lebih rendah lebih cepat terpengaruh oleh dekomposisi termal, yang dapat menghasilkan minyak pirolisis dalam jumlah yang lebih besar daripada ukuran partikel yang lebih besar.

H. Hasil Akhir

Hasil akhir dari sebuah proses pirolisis adalah berupa materi lain berbentuk arang (*charcoal*), minyak dan gas. Arang dapat digunakan sebagai karbon aktif yang banyak dimanfaatkan oleh dunia industri, minyak yang dihasilkan digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar, sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung atau di kompress ke dalam tabung sebagai alternatif bahan bakar gas.

Berikut beberapa hasil akhir dan manfaat dari aplikasi pirolisis terhadap bahan-bahan limbah sehingga mempunyai nilai guna lagi setelah diolah dengan cara pirolisis:

1. Karbon Aktif

Karbon aktif atau arang aktif adalah zat arang yang dihasilkan dari bahan-bahan alami. Kandungan karbon aktif sendiri adalah padatan yang didominasi amorf yang memiliki luas permukaan internal dan volume pori yang besar. Mempunyai karakteristik unik bertugas untuk penyerapan, yang dieksploitasi di berbagai aplikasi fase liquid dan gas. Karbon aktif adalah adsorben yang sangat serbaguna karena ukuran dan distribusi pori-pori dalam matriks karbon dapat dikendalikan untuk memenuhi kebutuhan saat ini. Zat yang serbaguna ini tak hanya mampu mengikat dan membuang racun dalam tubuh, tetapi juga berbagai manfaat lain seperti pemutih gigi, meredakan perut kembung, penawar racun sampai mencegah penuaan dini.



Gambar 6.10 Karbon Aktif Setelah Diolah Dalam Bentuk Pil Untuk Mengatasi Keracunan

(<https://www.sehatq.com/obat/karbon-aktif>)

2. Minyak

Hasil dari pirolisis berbahan dasar plastik menghasilkan minyak yang bisa digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak konvensional dengan dasar hidrokarbon hasil penambangan minyak bumi.

Minyak yang didapatkan merupakan hasil dari pemanfaatan limbah plastik yang diolah dengan cara pirolisis.



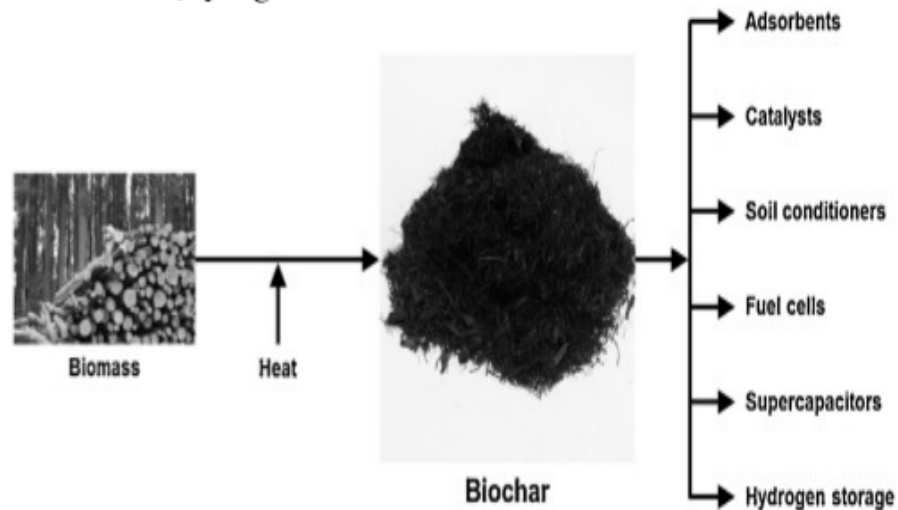
Gambar 6.11 Minyak Hasil Pirolisis dari Limbah Plastik

(<https://menara62.com/dosen-uad-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm/>)

3. Biochar

Biochar atau arang adalah bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik (biomas pertanian) melalui proses pirolisis yang

menghasilkan pembakaran tidak sempurna sehingga suplai oksigen terbatas. Arang ini sudah sejak lama dikenal di Indonesia, terutama sebagai sumber energi atau bahan bakar dan sumber panas. Sebelum setrika listrik marak digunakan, dahulu arang digunakan sebagai sumber panas. Sampai sekarang arang masih banyak digunakan sebagai alat masak tradisional karena dianggap mempunyai aroma khas seperti pembuatan sate. Arang saat ini juga dijadikan komoditas ekspor ke beberapa negara seperti Jepang dan Norwegia untuk bahan baku industri. Indonesia adalah salah satu negara pengekspor arang kayu bakau, dan tempurung kelapa ke beberapa negara seperti ke Korea Selatan, Arab Saudi, Jepang dan lain-lain.



55

Gambar 6.12 Biocahar yang Berasal dari Biomass

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X16301472>)

4. Biocoal

Biocoal adalah merupakan bahan bakar alami yang diolah dari hasil pembakaran limbah yang kering. Biocoal ini di pasaran dijual dalam bentuk briket yang merupakan hasil pencampuran biomassa limbah yang mengandung arang dengan batu-bara.

Teknologi pembuatan briket biocoal dilakukan dengan teknologi karbonisasi dan non-karbonisasi adalah sebuah proses pembuatan briket dari campuran antara batubara dan biomassa. Melalui tahapan proses preparasi ukuran material, pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan, sehingga diperoleh suatu bahan bakar padat yang mempunyai karakteristik tertentu.



Gambar 6.13 Briket Biocoal

(<https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/making-coal-food-waste-garden-cuttings-and-even-human-sewage>)

Teknologi karbonisasi merupakan suatu proses pembakaran dengan udara terbatas tanpa kehadiran oksigen terhadap material-material organik yang menghasilkan arang dan mengubah kadar fixed carbon yang rendah menjadi tinggi dengan meningkatkan nilai kalor.

Dalam teknologi non-karbonisasi, sebelum diproses menjadi briket digunakan tahapan untuk mengurangi atau menghilangkan zat terbang yang masih terkandung. Proses ini penggunaannya harus menggunakan tungku yang benar untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna agar seluruh zat terbang yang muncul dari briket akan habis terbakar oleh api dipermukaan tungku. Briket jenis ini dikembangkan untuk menghasilkan produk yang lebih murah namun tetap aman. Biocoal adalah merupakan bahan bakar yang direkomendasikan digunakan untuk industri kecil.

5. Asap Cair

Asap cair merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Asap cair dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan pembakaran secara tidak langsung atau pirolisis dengan suhu akhir mencapai 4000C. Asap cair yang diperoleh dari proses ini mempunyai warna hitam pekat karena

terdapat kandungan tar. Untuk menghilangkan kandungan tar tersebut, asap cair akan didiamkan kurang lebih 48 jam, kemudian dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring. Hasil saringan tersebut kemudian dimurnikan kembali melalui proses pemurnian yang disebut distilasi dengan suhu 1200C untuk menghasilkan suatu asap cair yang murni.



Gambar 6. 14 Produk Asap Cair Hasil Industri Kecil

(<https://www.republika.co.id/berita/qagt21430/teknologi-asap-cair-untuk-pertanian-ramah-lingkungan>)

Asap cair digunakan sebagai bahan pengobatan diantaranya sariawan. Kandungan terbesar asap cair berupa senyawa fenol, 2-metoksi fenol atau guaiacol, senyawa furan, senyawa piran dan karbonil. Senyawa fenol dan 2-metoksi fenol atau guaiacol merupakan suatu senyawa dengan sifat antioksidan. Senyawa ini berperan untuk mengikat radikal bebas yang dapat mengaktifkan NFkB untuk menghasilkan atau memproduksi TNF-a secara berlebihan. Jika produksi TNF-a ini berlebihan maka, proses penyembuhan sariawan akan terganggu, dan proses pembentukan kolagen juga akan terhambat. Dengan pemberian asap cair yang mengandung senyawa fenol dan 2-metoksi fenol atau guaiacol akan menghambat aktivasi NFkB, sehingga produksi TNF-a akan berkurang dan produksi kolagen akan meningkat, sehingga mempercepat proses penyembuhan sariawan.

6. Cuka Kayu

Cuka kayu adalah cairan berwarna coklat pekat dan berbau sangat yang diperoleh dari distilasi asap yang dihasilkan dari proses pembuatan arang kayu. Komponen utama yang terdapat dalam cuka kayu adalah asam asetat dan metanol, dan karenanya zat ini pernah digunakan sebagai sumber komersial untuk asam asetat.

Cuka kayu terbentuk dari proses pembakaran tidak sempurna dari bahan yang mengandung lignosellulosa. Cuka kayu menghasilkan senyawa-senyawa yang memiliki efek antimikroba, antibakteri, dan antioksidan. Senyawa tersebut antara lain fenol (berfungsi sebagai antioksidan), karbonil (berfungsi sebagai pewarna dan citarasa produk), asam (berfungsi sebagai antibakteri), furan, alkohol dan ester.

Cuka kayu memiliki banyak manfaat diantaranya untuk aplikasi pupuk, penyedia hara bagi tanaman (K, Na, Ca, Fe, B, Mg, N, P, C), penghambat pertumbuhan mikroba/jamur, insektisida dan fungisida alami, obat gatal pada kulit, penghilang bau tidak sedap (anti mikroba dan anti bakteri), penyerap racun dan lain-lain.

7. Gas sintetis terbarukan (H_2 , CH_4)

Akhir-akhir ini teknik pirolisis dikembangkan untuk mendapatkan lebih banyak fraksi cair atau fraksi gas. Gas sintetis terbarukan termasuk H_2 dan CH_4 hasil dari pirolisis termasuk bagian dari gas biomassa. Ini adalah merupakan sebuah istilah untuk semua bahan organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, termasuk limbah tanaman budidaya, algae dan juga sampah organik.

Proses pirolisis ditujukan semula untuk mendapatkan bahan bakar padat, arang dengan kualitas lebih tinggi dari biomassa asalnya. Hasil degradasi biomassa dalam proses pirolisis juga berupa cairan senyawa organik (tar, hidrokarbon berat dan asam-asam organik), dan gas-gas (CO , CO_2 , H_2O , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , dll). Fraksi masing-masing produk pirolisis tergantung pada: temperatur akhir pirolisis, dan laju pemanasan

Biomassa sangat beragam dan berbeda dalam hal sifat kimia, sifat fisis, kadar air, kekuatan mekanis dan sebagainya. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan, tetapi kualitasnya rendah. Sehingga teknologi konversi termal biomassa beragam tergantung pemanfaatannya dan relatif rumit.

Zat terbang (*volatile matter*) adalah senyawa-senyawa yang dilepas biomassa saat mengalami pemanggangan atau pemanasan. Zat terbang terdiri dari H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , hidrokarbon ringan, tar, ammonia, senyawa sulfur, dan senyawa oksigen. Karbon terikat (*fixed carbon*) adalah padatan yang masih tersisa bersama dengan abu setelah biomassa melewati proses pirolisis. Kadungan utama karbon terikat adalah elemen C.

I. Pemanfaatan Katalis dalam Pirolisis

Secara umum dalam proses pirolisis akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu gas, cairan dan padatan. Pirolisis pada bahan polimer, bahan padat akan menghasilkan gas, sebagian mengembun, serta padatan yang tidak bereaksi lagi dan tersisa di dalam reaktor. Konversi dan suhu proses pirolisis plastik dapat diperbaiki dengan melibatkan katalis. Katalis sendiri adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tetapi tidak mengalami perubahan dan pengurangan jumlah.

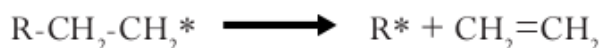
Katalis yang dapat digunakan dalam proses pirolisis bermacam-macam jenisnya seperti Al_2O_3 , Bentonit, Zeolit dan lainnya. Silika alumina maupun zeolit merupakan katalis yang umum digunakan dalam proses perengkahan limbah plastik dengan cara pirolisis.

Pirolisis pada polimer hidrokarbon merupakan reaksi endotermis yang memerlukan energi yang besar (suhu tinggi), dengan kisaran temperatur 350–500°C, mengikuti reaksi radikal bebas. Untuk mendapatkan produk yang diinginkan temperatur reaksi bahkan bisa mencapai 700–900°C.

Karakteristik degradasi termal (perengkahan) dari hidrokarbon rantai panjang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Produksi berlimpah rantai C_{18} sampai dengan C_{28} pada gas yang dihasilkan
2. Sedikit ditemukan olefin yang memiliki rantai cabang
3. Beberapa diolefin terbentuk di suhu tinggi
4. Selektivitas bensin sangat kecil, karena minyak yang diproduksi memiliki distribusi berat molekul yang luas
5. Dihasilkan gas dan arang cukup banyak
6. Reaksi berjalan lebih cepat bila digunakan katalis

Reaksi ini melalui tiga tahap, yaitu tahap permulaan, tahap perambatan, dan tahap penghentian. Pada tahap permulaan terjadi pemutusan rantai ikatan yang lemah karena adanya kenaikan suhu. Radikal bebas yang terbentuk pada tahap perambatan akan terpecah lagi membentuk radikal bebas baru yang lebih kecil, dan senyawa stabil, dengan reaksi :



Pada tahap penghentian, radikal-radikal bebas yang ada akan membentuk senyawa stabil, dengan reaksi:



Katalis menggunakan zeolit sintetis ZSM5 akan memberikan hasil gas yang lebih banyak, karena ukuran pori yang lebih kecil dan perbandingan Silika-Alumina yang tinggi. Sayangnya zeolit sintetis belum diproduksi di Indonesia sehingga harganya relatif mahal dan menjadi kendala untuk ketersediaan dalam jangka panjang.

Di sisi lain, Indonesia adalah merupakan penghasil utama zeolit alam. Potensi zeolit alam Indonesia banyak dan berlimpah. Hanya saja secara fisika dan kimia zeolit alam harus diolah terlebih dahulu sebelum dapat digunakan karena tingginya kandungan air, pengotor organik dan kecilnya pori. Hal ini dapat diatasi dengan memberi perlakuan awal agar didapatkan zeolit sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi untuk mengurangi kandungan air dalam zeolit alam untuk memperbesar pori, serta menghilangkan pengotor-pengotor organik. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan pengasaman, bertujuan untuk menghilangkan pengotor organik, serta meningkatkan suasana asam pada zeolit alam.

Zeolit yang banyak ditemukan dalam batuan alam memiliki kerangka dasar yang terdiri dari unit-unit tetrahedral AlO_4^{2-} dan SiO_4^- . Keduanya saling berhubungan melalui atom O, dan di dalam struktur Si^{4+} dapat digantikan dengan Al^{3+} , ataupun sebaliknya. Kerangka tetrahedral dari zeolit tidak stabil terhadap asam atau panas, namun zeolit mordenit yang memiliki perbandingan $\text{Si}/\text{Al} = 5$ adalah sangat stabil. Untuk itu diusahakan untuk membuat zeolit dengan kadar Si lebih tinggi daripada 1

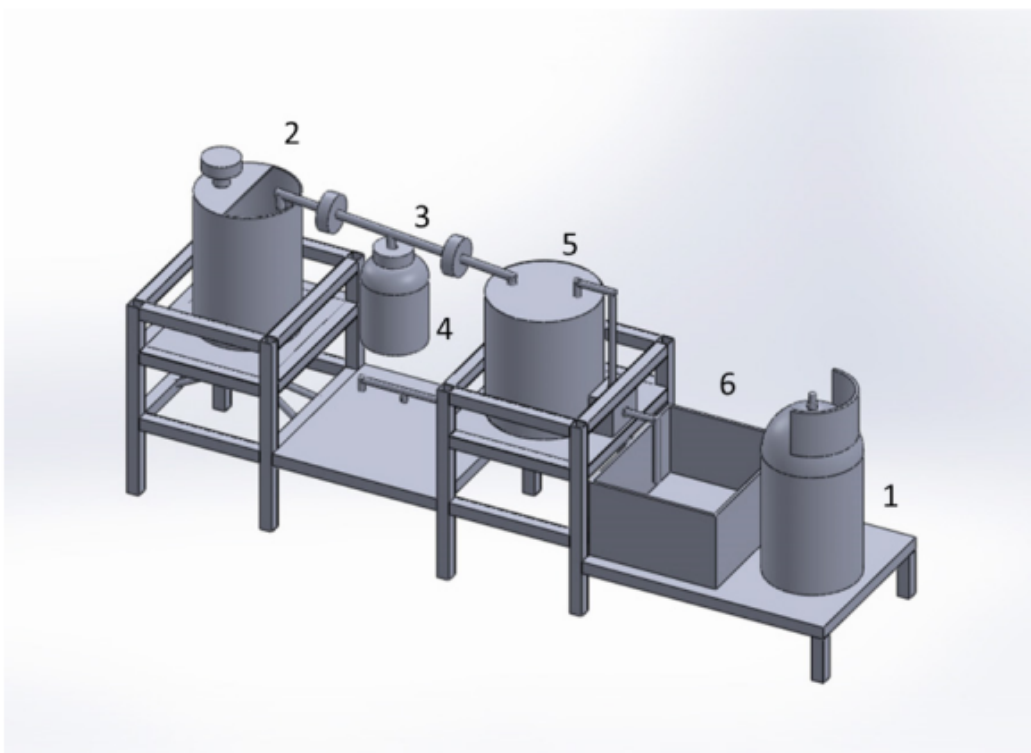
Selektivitas zeolit sebagai katalis proses perengkahan hidrokarbon juga sangat baik pada rasio Si/Al yang tinggi, karena cenderung menyerap molekul-molekul non polar. Salah satu cara untuk mendapatkan rasio Si/Al yang tertentu adalah dengan dealuminasi. Dengan rasio Si/Al yang tinggi, zeolit akan semakin memiliki ketahanan terhadap suasana asam maupun suhu tinggi hingga 900 K.

Perlakuan dengan asam lemah juga dapat meningkatkan rasio Si/Al , disamping mampu meningkatkan volume dan luas permukaan.

BAB 7 PERALATAN PIROLISIS

A. Unit Peralatan Pirolisis Limbah Kantong Plastik

Peralatan unit pirolisis tersusun oleh komponen-komponen alat yaitu tabung sumber energi, tabung reaktor, pipa penghubung antara reaktor dan kondensor, penampungan tar, kondensor, penampung bahan bakar minyak dan bak air pendingin. Sebelum membuat peralatan pirolisis dibutuhkan desain terlebih dahulu sebagai acuan dalam proses pembuatan. Berikut contoh desain 3D peralatan pirolisis limbah kantong plastik berkapasitas 2,5 kg.



Gambar 7.1 Rancangan Unit Peralatan Pirolisis Limbah Plastik

Keterangan :

1. Tabung sumber bahan bakar
2. Tabung reaktor
3. Pipa penghubung reaktor ke kondensor
4. Tabung tar
5. Kondensor
6. Bak air pendingin

Pembuatan reaktor dimulai dengan pembuatan reaktor, kondensor dan pipa-pipa penghubung, rangka, perakitan, serta pengecatan dan hasil akhir (*finishing*).

1. Proses Pembuatan Reaktor

Pembuatan reaktor dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Pemotongan Pipa *Stainless stell* sebagai bahan reaktor dengan ukuran diameter, Panjang dan ketebalan yang dibutuhkan.



Gambar 7.2 Pipa *Stainless Stell* Bahan Tabung Kondensor

- b. Memotong plat *stainless stell* untuk tutup bagian atas dan bawah reaktor.



Gambar 7.3 Plat Tutup Atas dan Bawah Reaktor

- c. Membuat lubang input sampah dan output uap panas hasil pirolisis.



Gambar 7.4 Tutup Atas Tabung Reaktor

- d. Perakitan tutup atas dan bawah tabung reaktor.



Gambar 7.5 Perakitan Tutup Atas



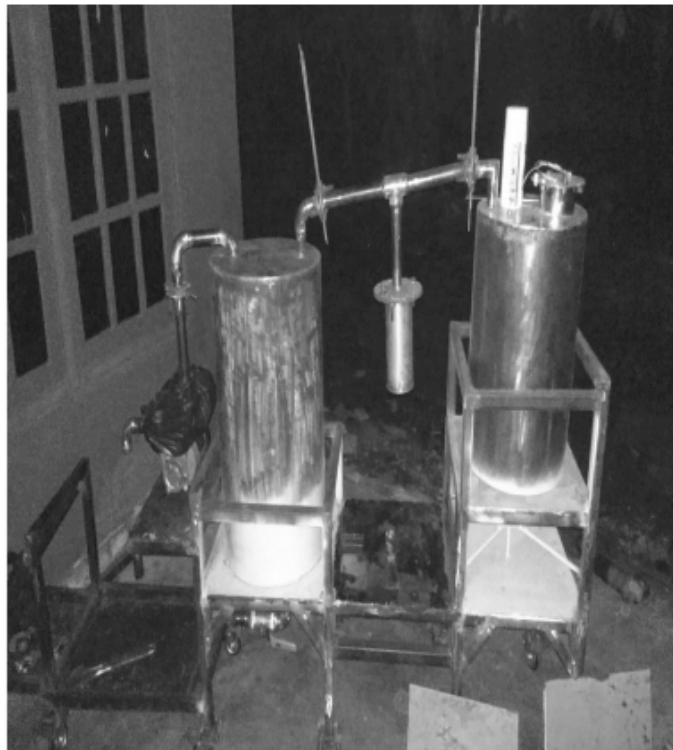
Gambar 7.6 Perakitan Tutup Bawah

- e. Mengisolasi sekeliling reaktor dengan *glass wool* dan menutup tabung reaktor dengan plat besi. Glass wool digunakan sebagai penahan kalor agar tidak ke lingkungan.



Gambar 7.7 Mengisolasi Reaktor dengan *GlassWool*

- f. Membuat tabung penampungan tar menggunakan pipa galvanis untuk penyambung pada bagian atas reaktor dengan penampungan tar dan ke kondensor

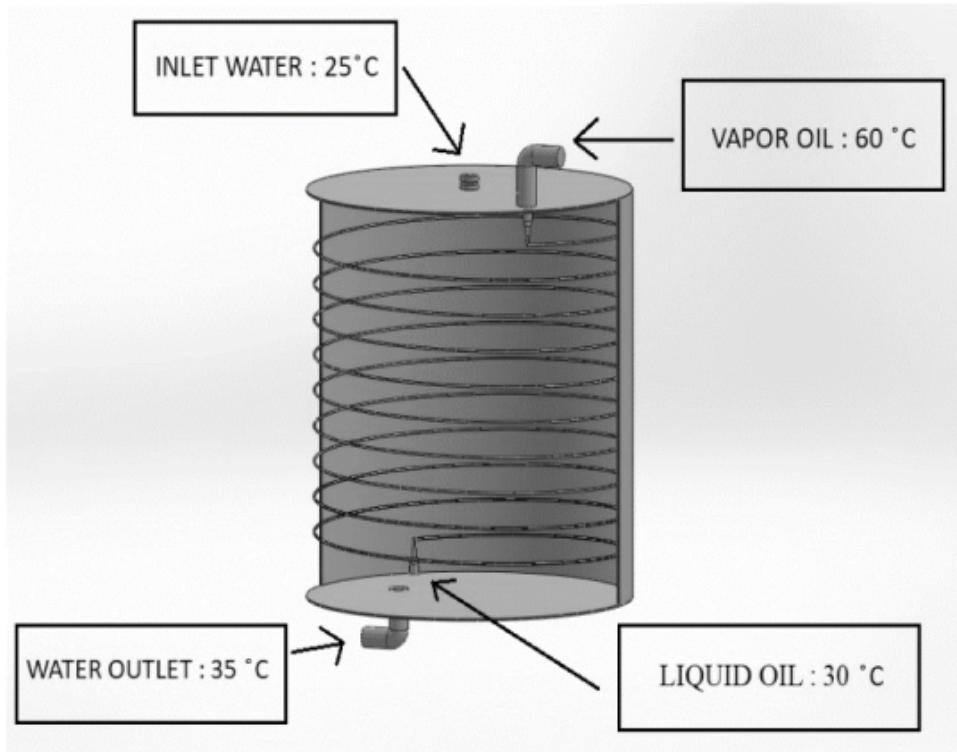


Gambar 7.8 Tabung Penampungan Tar

2. Proses Pembuatan Kondensor

Pembuatan kondensor dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Perhitungan Rancangan/Desain Kondensor



Gambar 7.9 Heat Exchanger Kondensor Alat Pirolisis

Rancangan kondensor ini menggunakan air pendingin masuk bertemperatur 25°C , dan air pendingin keluar dengan temperatur 35°C dengan suhu *vapor oil* 60°C . Untuk mendapatkan *liquid oil* bertemperatur 30°C dengan melakukan perhitungan pada panjang pipa *tube* kondensor sebagai berikut :

Diketahui :

Cold fluid

$$T_{in} = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$$

$$T_{out} = 35^{\circ}\text{C} = 308^{\circ}\text{K}$$

$$T_{bulk} = \frac{25^{\circ}\text{C} + 35^{\circ}\text{C}}{2^{\circ}\text{C}} = 30^{\circ}\text{C} = 303^{\circ}\text{K}$$

$$\dot{m} = 0,038 \text{ kg/s}$$

Hot fluid

$$T_{in} : 60^{\circ}C = 333^{\circ}K$$

$$T_{out} : 30^{\circ}C = 303^{\circ}K$$

$$T_{bulk} = \frac{60^{\circ}C + 30^{\circ}C}{2} = 45^{\circ}C = 318^{\circ}K$$

Sisa plastik LDPE di reaktor : 0,25 kg

Plastik LDPE habis bereaksi : 2,25 kg

Lama waktu pengujian : 6 jam = 21.600 s

$$m : \frac{2,25 \text{ kg}}{21600 \text{ s}}$$

$$m : 0,0001041666 \text{ kg/s}$$

Pipa tube kondensor menggunakan pipa tembaga dengan diameter:

$$Di : 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$$

$$Do : 35 \text{ mm} = 0,035 \text{ m}$$

$$Dh : 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

Tabel 7.1 *Thermophysical Properties of Saturated Fluids*

Thermophysical Properties of Saturated Fluids

TABLE A.5 Thermophysical Properties of Saturated Fluids*

Saturated Liquids								
T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^2$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^7$ (m ² /s)	Pr	$\beta \cdot 10^3$ (K ⁻¹)
Engine Oil (Unused)								
273	899.1	1.796	385	4280	147	0.910	47.000	0.70
280	895.3	1.827	217	2430	144	0.880	27.500	0.70
290	890.0	1.868	99.9	1120	145	0.872	12.900	0.70
300	884.1	1.909	48.6	550	145	0.859	6400	0.70
310	877.9	1.951	25.3	288	145	0.847	3400	0.70
320	871.8	1.993	14.1	161	143	0.823	1965	0.70
330	865.8	2.035	8.36	96.6	141	0.800	1205	0.70
340	859.9	2.076	5.31	61.7	139	0.779	793	0.70
350	853.9	2.118	3.56	41.7	138	0.763	546	0.70
360	847.8	2.161	2.52	29.7	138	0.753	395	0.70
370	841.8	2.206	1.86	22.0	137	0.738	300	0.70
380	836.0	2.250	1.41	16.9	136	0.723	233	0.70
390	830.6	2.294	1.10	13.3	135	0.709	187	0.70
400	825.1	2.337	0.874	10.6	134	0.695	152	0.70
410	818.9	2.381	0.698	8.52	133	0.682	125	0.70
420	812.1	2.427	0.564	6.94	133	0.675	103	0.70
430	806.5	2.471	0.470	5.83	132	0.662	88	0.70

Nilai Cp, k, μ didapat dari tabel 7.1.

Cp: 1984,6 J/kg. K

k : 0,143 W/m. K

μ : 0,0016 N.s/m²

$$Q = m \times C_p \times (T_{hi} - T_{ho}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$= 0,0001041666 \text{ kg/s} \times 1984,6 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (333^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K})$$

$$Q = 6,2019 \text{ W}$$

$$Re = \frac{\mu \times m}{\pi(D0+Di)\mu} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$= \frac{(0,0016 \text{ N.s/m}^2 \times 0,0001041666 \text{ kg/s})}{3,14(0,035\text{m} + 0,025) 0,0016 \text{ N.s/m}^2} = \frac{0,000166666 \text{ kg/s}}{3,14(0,035\text{m} + 0,025) 0,0016 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 1,4$$

$$ho = 5,63 \times \frac{K}{Dh} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$= 5,63 \times \frac{0,143 \text{ W/m.K}}{0,0001 \text{ m}}$$

$$ho = 805,09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tabel 7.2 Thermophysical Properties of Saturated Water

Thermophysical Properties of Saturated Water

TABLE A-6 Thermophysical Properties of Saturated Water*

Temperature, T (K)	Pressure, p (bar)	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, h _{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg·K)		Viscosity (N·s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m·K)		Prandtl Number		Surface Tension, σ _s · 10 ³ (N/m)	Expansion Coefficient, β _f · 10 ⁴ (K ⁻¹)	Temperature, T (K)
		v _f · 10 ³	v _g		c _{p,f}	c _{p,g}	μ _f · 10 ⁶	μ _g · 10 ⁶	k _f · 10 ³	k _g · 10 ³	Pr _f	Pr _g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	-6.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.882	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
375.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	375.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.20	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.40	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	430	430

Appendix A • Thermophysical Properties of Matter

1003

$$\begin{aligned}
C_p &= 4178 \text{ J/kg.K} \\
k &= 0,617 \text{ W/m.K} \\
\mu &= 0,000804 \text{ N.s/m}^2 \\
Pr &= 5,45 \\
Q &= \dot{m} \times C_p (t_o - t_i) \dots\dots\dots(16) \\
&= 0,038 \text{ kg/s} \times 4178 \text{ J/kg.K} (35^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \\
Q &= 1587,6 \text{ W}
\end{aligned}$$

$$Re = \frac{(4.\dot{m})}{\pi.Di.\mu} \dots\dots\dots(17)$$

$$Re = \frac{4.0,038 \text{ kg/s}}{3,14 \times 0,025 \text{ m} \times 0,000803 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re = 2410$$

$$\begin{aligned}
Nu &= 0,023 \times (Re^{4/5}) \times Pr^{0,4} \dots\dots\dots(18) \\
&= 0,023 \times (2410^{4/5}) \times 5,45^{0,4} \\
Nu &= 23
\end{aligned}$$

$$Hi = \frac{(Nu.k)}{Di} = \frac{(23 \times 0,617)}{0,025} = 5676 \text{ W/m}^2.\text{K} \dots\dots\dots(19)$$

$$LMTD = \frac{(T_i - T_o) - (T_o - T_i)}{LN(T_i - T_o) - (T_o - T_i)} \dots\dots\dots(20)$$

$$LMTD = \frac{(60^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) - (30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{LN(60^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) - (30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}$$

$$LMTD = 12,4^\circ\text{C}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{1}{ho}} \dots\dots\dots(21)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{568 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{1}{805,09 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}}$$

$$= \frac{1}{0,0017605643 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} + 0,0012420972 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_i = 333 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$L = \frac{Q}{U_i \cdot \pi \cdot D_i \cdot LMTD} \dots\dots\dots(22)$$

$$= \frac{1587 \text{ W}}{333 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 3,14 \cdot 0,025 \text{ m} \cdot 12,4^\circ \text{C}}$$

$$L = 4,87 \text{ m}$$

Jadi dari perhitungan tersebut didapat panjang pipa *tube* kondensor adalah 4,87 m dibentuk spiral (8 putaran).

61

Catatan :

Q = Besar kalor (W)

\dot{m} = Massa air (kg/s)

C_p = Spesifik heat (J/kg. K)

Re = Reynold Number

D_i = Diameter pipa shell (m)

D_o = Diameter pipa tube (m)

D_h = Diameter hidrolis pipa (m)

Nu = Angka Nusselt

h_i = Koefisien perpindahan kalor konveksi didalam pipa (W/m².K)

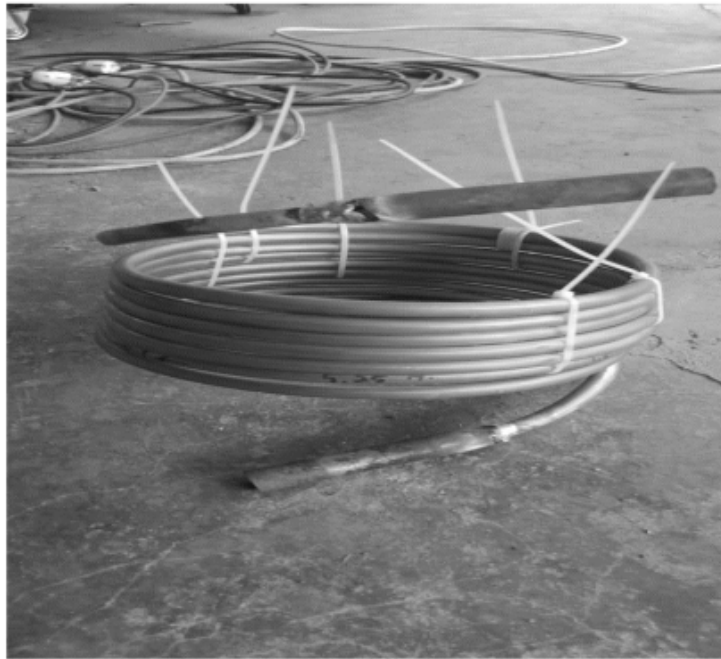
h_o = perpindahan kalor konveksi di laur pipa (W/m².K)

U_i = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m².K)

$LMTD$ = Beda temperatur rata-rata logaritma (°C)

L = Panjang pipa tube kondensor (m)

- b. Membuat pipa tembaga sebagai tube kondensor dengan dibentuk spiral.



Gambar 7.10 Pipa *Tube* Kondensor

- c. Membuat pipa besi sebagai *shell* kondensor.



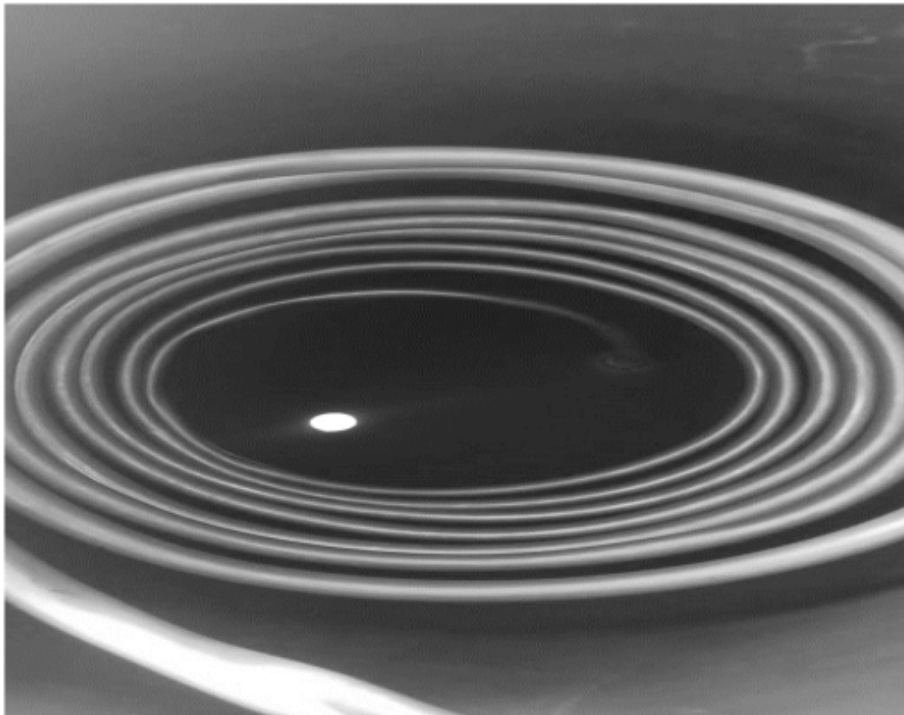
Gambar 7.11 Pipa Besi *Shell* Kondensor

- d. Menutup bagian bawah *shell* kondensor dengan plat besi dengan cara di las.



Gambar 7.12 Merapikan Hasil Las dengan Menggunakan Gerinda

- e. Memasukkan pipa tube kedalam pipa kondensor.



Gambar 7.13 Memasukkan Pipa tube kedalam *Shell* Kondensor

- f. Membuat lubang aliran masuk dan aluran keluar air pendingin menuju bak penampung air.



Gambar 7.14 Membuat Lubang Pada Kondensor

- g. Memasang pompa yang mensuplai air yang akan menuju kedalam kondensor.



Gambar 7.15 Memasang Pompa Air

3. Proses menyatukan alat keseluruhan

Setelah reaktor dan kondensor telah selesai dibuat, maka dilakukan proses penyatuan reactor, pipa saluran dari reaktor ke penampungan tar serta ke kondensor, pipa saluran dari kondensor ke pompa dan menempatkan alat yang telah tersambung di rangka mesin pirolisis.



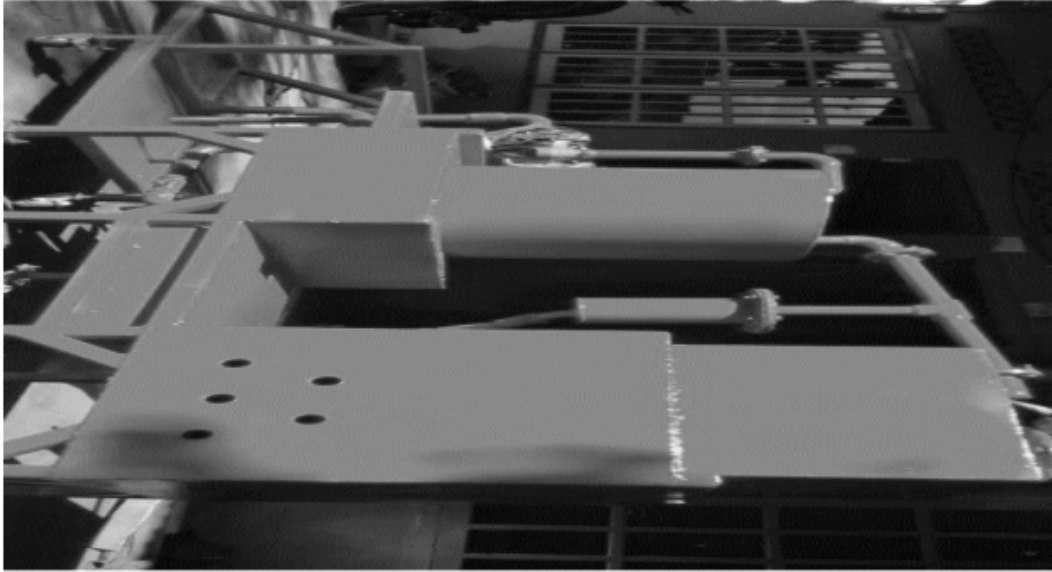
Gambar 7.16 Menyambungkan Reaktor Ke Kondenser

4. Proses Pengecatan

Proses pengecatan pirolisis dilakukan dengan 2 tahapan yaitu pengecatan dasar dan pengecatan akhir



Gambar 7.17 Pengecatan Dasar Alat Pirolisis



Gambar 7.18 Pengecatan Pada Alat Pirolisis

Setelah cat telah kering, maka dilakukan pemasangan komponen-komponen penampungan air, tabung gas, kompor dan gas LPG serta pemasangan alat control temperature. Berikut hasil unit peralatan pirolisis yang berhasil dibuat :



Gambar 7.19 Alat Pirolisis Limbah Kantong Plastik Kapasitas 2,5 Kg

B. Alat *PreTreatment* Proses Pirolisis

Proses pirolisis membutuhkan proses *treatment* awal terhadap limbah kantong plastik yang akan dijadikan bahan baku pada proses pirolisis.

Treatment ini meliputi proses pencucian limbah kantong plastik serta proses pengeringan limbah kantong plastik yang telah dicuci. Sehingga limbah kantong plastik yang diumpankan ke mesin pirolisis telah benar-benar bersih dan kering.

1. Mesin Pencuci Limbah Kantong Plastik

Mesin Pencuci limbah kantong plastik ini merupakan mesin tambahan dalam proses pirolisis limbah kantong plastik yang berguna sebagai pencuci limbah kantong plastik yang diambil dari pembuangan sampah. Mesin ini bekerja secara mekanik dengan menggunakan prinsip rotari dengan penggerak utama mesin diesel. Penggunaan mesin diesel mempertimbangkan untuk kefleksibelan penggunaan dimana pusat pengolahan sampah biasanya jauh dari sumber listrik AC. Mesin pencuci limbah kantong plastik ini berkapasitas 3 kg limbah kantong plastik.



Gambar 7.20 Desain 3D Mesin Pencuci Limbah Plastik.

Sama dengan proses pembuatan mesin pirolisis, dalam pembuatan mesin pencuci limbah kantong plastik ini juga diperlukan desain gambar terlebih dahulu sebagai acuan dalam proses pembuatan. Selain desain 3D dibutuhkan juga persiapan alat dan bahan. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan mesin limbah kantong plastik ini ada pada tabel berikut :

Tabel 7.3 Persiapan Alat Kerja

No	Nama Mesin	Jumlah	Satuan
1	Mesin Las	1	Unit
2	Gerinda Tangan	1	Buah
3	Meteran	1	Buah
4	Mesin Bor Tangan	1	Buah
5	Mistar Siku	1	Buah
6	Topeng Las	1	Buah
7	Kacamata Gerinda	1	Buah
8	Penggores	1	Buah
9	Sarung Tangan	1	Pasang
10	<i>Wearpack</i>	1	Buah
11	Tang	1	Buah
12	Kunci	1	Set

Pembuatan mesin pencuci limbah kantong plastik adalah sebagai berikut :

- a. Perakitan kerangka merupakan proses yang harus pertama kali dilakukan dimulai dengan melakukan pemotongan besi kerangka mesin pencuci limbah kantong plastik menggunakan bahan utama besi UNP, dan besi siku.



Gambar 7.21 Proses Pemotongan Besi.

- b. Perakitan selanjutnya yaitu menyatukan rangka yang dilas sebelumnya menjadi satu-kesatuan membentuk persegi panjang, proses ini bisa dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 7.22 Proses Penyatuan Kerangka.

- c. Melakukan pemasangan wadah bak pencuci yang udah dibending manual menggunakan *chain blok*, dan satukan dengan rangka menggunakan las *stainless*



Gambar 7.23 Proses Pemasangan Wadah Bak Pencuci.

- d. Melakukan pemasangan besi as dan besi selongsong ke dalam wadah bak pencuci
- e. Setelah besi as dan selongsong terpasang dalam wadah pencuci, lalu melakukan pembuatan mata sudu dengan besi beton dengan cara dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dan disatukan dengan cara dilas.



Gambar 7.24 Proses Membuat Sudu Pencuci.

- f. Membuat kedudukan kaki mesin pencuci memakai plat besi, dengan cara diukur sesuai yang diinginkan dan dilakukan proses pengeboran dahulu
- g. Setelah pengeboran selesai, melakukan pemotongan memakai gerinda tangan
- h. Melakukan proses pengelasan pada kaki mesin pencuci dan langsung memasang roda karet pada mesin
- i. Membuat pembuangan air memakai kran air memakai bahan kuningan 3inch yang dilas.
- j. Melakukan pengecatan dasar tahap awal dengan bahan *e-poxy*



Gambar 7.25 Hasil Pengecetan Dasar *E-Poxy*

- k. Melakukan pengecetan tahap Terakhir yaitu warna biru



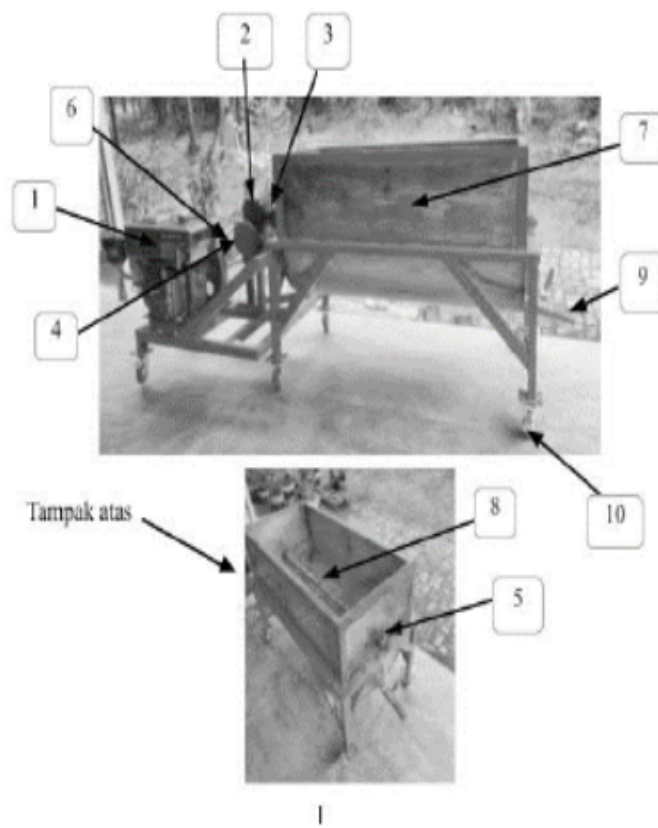
Gambar 7.26 Pengecetan Tahap Terakhir

- l. Melakukan pemasangan kopling, *gearbox*, dan mesin *diesel*



Gambar 7.27 Semua Komponen Telah Terpasang Semua.

Berikut mesin pencuci limbah kantong plastik yang berhasil dibuat.



Gambar 7.28

Keterangan :

1. Mesin diesel
2. *Gearbox*
3. Kopling
4. *Pulley*
5. *Bearing*
6. *V-belt*
7. Bak Pencuci
8. Sudu
9. Kran air
10. Roda karet

C. Mesin Pengering Limbah Kantong Plastik

Mesin Pengering limbah kantong plastik ini merupakan mesin tambahan dalam proses pirolisis limbah kantong plastik yang berguna sebagai pengering limbah kantong plastik yang telah dicuci di mesin pencuci. Mesin ini juga bekerja secara mekanik dengan menggunakan prinsip rotari dengan penggerak utama mesin diesel. Penggunaan mesin diesel mempertimbangkan untuk keflexible an penggunaan dimana pusat pengolahan sampah biasanya jauh dari sumber lidtrik AC. Mesin pencuci limbah kantong plastik ini berkapasitas 3 - 5 kg limbah kantong plastik.



Gambar 7.29 Desain 3D Pengering Limbah Kantong Plastik

Sama dengan proses pembuatan mesin pencuci limbah kantong plastik, dalam pembuatan mesin pengering limbah kantong plastik ini juga diperlukan desain gambar terlebih dahulu sebagai acuan dalam proses pembuatan. Selain desain 3D dibutuhkan juga persiapan alat dan bahan. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan mesin limbah kantong plastik ini ada pada tabel berikut:

Tabel 7.4 Persiapan Alat Kerja

No	Nama Mesin	Jumlah	Satuan
1	Mesin Las	1	Unit
2	Gerinda Tangan	1	Buah
3	Meteran	1	Buah
4	Mesin Bor Tangan	1	Buah
5	Mistar Siku	1	Buah
6	Topeng Las	1	Buah
No	Nama Mesin	Jumlah	Satuan
7	Kacamata Gerinda	1	Buah
8	Penggores	1	Buah
9	Sarung Tangan	1	Pasang
10	<i>Wearpack</i>	1	Buah
11	Tang	1	Buah
12	Kunci	1	Set

Tabel 7.5 Bahan yang Digunakan

No	Bahan Yang Digunakan	Jumlah	Satuan
1	Drum Besi	2	Unit
2	Besi UNP	3	Batang
3	Besi Siku	1	Batang
4	Besi As	1	1,5mm
5	Pipa Selongsong	1	Buah
6	Mesin <i>Diesel</i>	1	Unit
7	<i>Bearing Duduk</i>	2	Buah
8	<i>Pulley</i>	1	Buah
9	Timbangan	1	Buah
10	Roda Etalase	8	Buah
15	Baut dan Mur	32	Buah
16	Kawat Las	2	Kotak
17	Kawat Las <i>Stainless</i>	2	Kotak
18	Mata Gerinda Potong	2	Box
24	Mata Gerinda Amplas	6	Buah

Tabel 7.6 Bahan Yang Digunakan

No	Bahan Yang Digunakan	Jumlah	Satuan
1	Plat <i>Stainless</i>	1	Lembar
2	Besi UNP	3	Batang
3	Besi Siku	1	Batang
4	Besi AS	1	1,5mm
5	Pipa Selongsong	1	Buah
6	Mesin <i>Diesel</i>	1	Unit
7	<i>Bearing</i> Duduk	2	Buah
8	<i>Gearbox</i>	1	Unit
9	Kopling	1	Batang
10	<i>Pulley</i>	1	Buah
11	Roda karet	8	Buah
12	Baut dan Mur	32	Buah
13	Besi Beton	1	Buah
14	Kawat Las	2	Kotak
15	Kawat Las <i>Stainless</i>	2	Kotak
16	Mata Gerinda Potong	2	Box
17	Mata Gerinda Amplas	6	Buah
18	Kran Air	1	Buah

Proses pembuatan mesin pengering limbah kantong plastik meliputi proses pemotongan, proses pengelasan, proses perakitan, proses pemasangan dan proses pengecatan. Proses pembuatan mesin adalah sebagai berikut

- a. Perakitan kerangka dimulai dengan melakukan pemotongan besi kerangka mesin pengering limbah kantong plastik menggunakan bahan utama besi UNP, dan besi siku.
- b. Selanjutnya besi UNP dan besi siku dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan dan dilakukan perakitan.
- c. Melakukan pemotongan pada bagian tutup drum dan kemudian 2 drum yang sudah dipotong tutupnya akan dilakukan penyambungan agar mendapatkan ukuran drum yang diinginkan



Gambar 7.30 Pemotongan Drum Besi



Gambar 7.31 Penyambungan Drum Besi

- d. Melakukan pengelasan pada besi yang sudah dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan, untuk dijadikan kerangka drum besi.



Gambar 7.32 Pengelasan Rangka

- e. Pemasangan kerangka ke drum besi.



Gambar 7.33 Proses Penyambungan Rangka ke Drum Besi

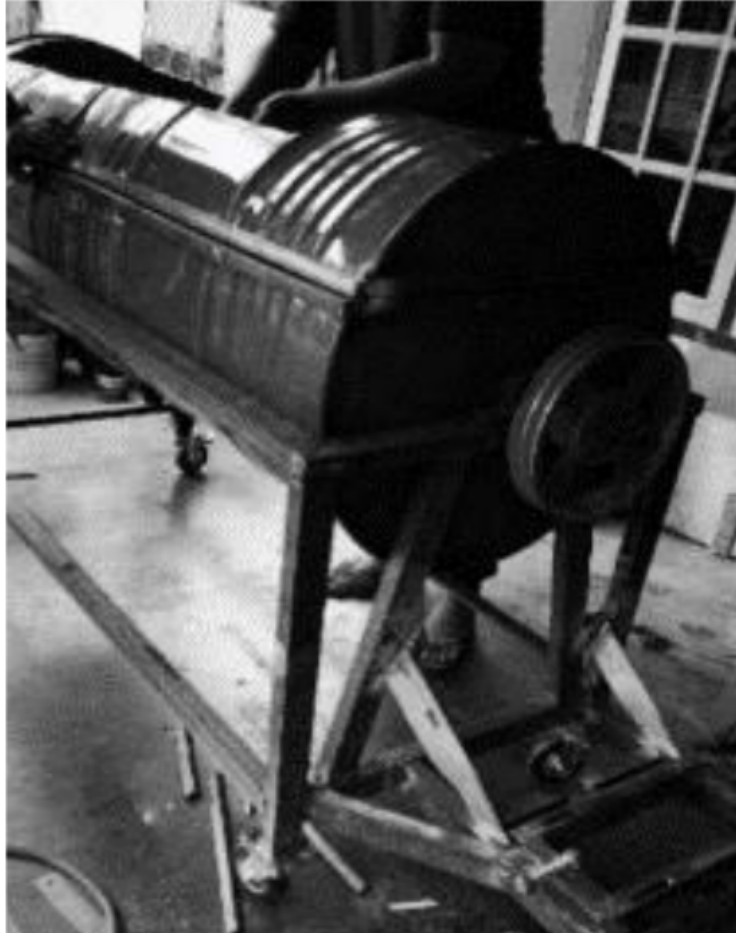
- f. Membuat lubang tiap muka drum untuk posisi besi poros.
- g. Membelah drum yang sudah tersambung agar dibuat sistem buka tutup.

- h. Membuat saluran masuk dan pembuangan limbah kantong plastik.
- i. Membuat sudu sesuai dengan desain yang telah dibuat.



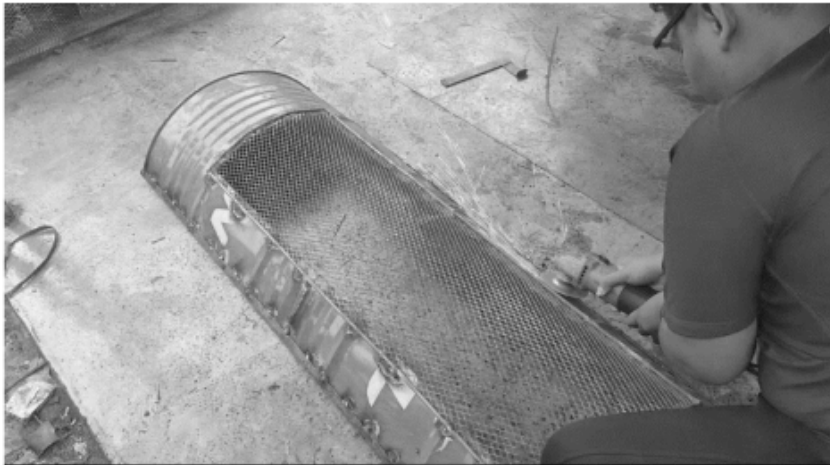
Gambar 7.34 Proses Pembuatan Sudu

- j. Membuat rangka kedudukan mesin *diesel*



Gambar 7.35 Pembuatan Kedudukan Mesin *Diesel*

- k. Pemotongan bagian atas dan bawah drum untuk dipasang jaring-jaring.
- l. Pemasangan jaring-jaring ke bagian atas dan bawah pada drum.



Gambar 7.36 Pemasangan Jaring-jaring

- m. Membuat kedudukan roda karet.
- n. Melakukan pengecatan tahap awal (*epoxy*).
- o. Melakukan pengecatan tahap akhir



Gambar 7.37 Pengecatan Tahap Akhir

- p. *Finishing* memasang mesin *diesel*, roda, dan poros sudu.

Berikut mesin pengering limbah kantong plastik yang berhasil dibuat.



Gambar 7.38 Hasil Akhir Mesin Pencuci Limbah Plastik

Keterangan :

1. Mesin *Diesel*
2. *V-Belt*
3. *Pulley*
4. Bak Pengering
5. Rangka
6. Roda
7. Lubang Pemasukan Limbah (*in*)
8. Jaring-jaring Bak Pengering
9. Sudu
10. Lubang Pengeluaran Limbah (*out*)
11. Saluran Pengeluaran Air

BAB 8 PENGELOLAAN LIMBAH PLASTIK KANTONG PLASTIK MENGGUNAKAN PIROLISIS

A. Limbah Kantong Plastik

Limbah kantong plastik merupakan limbah plastik yang paling banyak tersisa di tempat pembuangan sampah dan tempat pembuangan akhir sampah dikarenakan tertumpuknya kantong plastik. Penumpukan ini dikarenakan limbah kantong plastik yang merupakan jenis plastik LDPE ini tidak diambil oleh pemulung karena tidak ada pengepul yang mau menerima jenis plastik ini. Karena tidak bernilai ekonomis maka limbah kantong plastik ini akhirnya tertimbun selama bertahun-tahun di tanah dan tidak terdegradasi oleh bakteri di tanah. Kondisi ini berbahaya bagi lingkungan dan walaupun akhirnya akan dimusnahkan biasanya dimusnahkan dengan cara dibakar karena metode inilah yang paling cepat untuk memusnahkan limbah plastik jenis walaupun gas sisa pembakaran sangat tidak ramah terhadap lingkungan dan kesehatan.

Pengolahan limbah kantong plastik yang lebih bermanfaat guna adalah dengan mendaur ulang limbah kantong plastik ini menjadi asal pembentukannya yaitu bahan bakar minyak. Metode mendaur ulang yang digunakan adalah metode pirolisis. Kantong plastik yang digunakan dalam pirolisis limbah kantong plastik ini harus dalam kondisi bersih dan benar-benar kering agar bahan bakar yang dihasilkan dari proses pirolisis limbah kantong plastik lebih murni dan mempersingkat waktu. Limbah kantong plastik dengan kondisi bersih dan kering memerlukan penanganan awal dalam bentuk proses pencucian dan pengeringan.

Rangkaian peralatan proses pirolisis secara berurut terdiri dari mesin pencuci limbah kantong plastik, mesin pengering, mesin pirolisis. Gambar

rangkaian pengolahan limbah kantong plastik menggunakan pirolisis digambarkan di bawah ini:



Gambar 8.1 Rangkaian Pengolahan Pirolisis Limbah Kantong Plastik

B. Pencucian Limbah Kantong Plastik

Kantong plastik biasanya digunakan untuk membungkus makanan ataupun dijadikan kantong pembuangan sisa-sisa makanan atau minuman dan juga karena pengendapan kotoran-kotoran lain saat tertumpuk di Tempat Pembuangan Sampah (TPS) maupun Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Karena alasan inilah dibutuhkan proses pencucian terhadap limbah kantong plastik sebelum dijadikan bahan baku proses pirolisis.. Pencucian limbah kantong plastik dilakukan dengan menggunakan mesin pencuci limbah kantong plastik. Proses pencucian limbah kantong plastik adalah sebagai berikut :

- A. Penggunaan peralatan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) yaitu masker dan sarung tangan.
- B. Air bersih dimasukkan ke dalam wadah mesin pencuci limbah kantong plastik, sampai airnya setengah dari bak penampung mesin pencuci kurang lebih 220 liter.
- C. Penimbangan limbah kantong plastik untuk memastikan bahwa limbah kantong plastik tidak berlebih atau kurang dari kapasitas mesin pencuci.



Gambar 8.2 Proses Penimbangan Limbah Kantong Plastik Kotor

- D. Sebelum mengoperasikan mesin *diesel*, buka *drain* kran saluran minyak



Gambar 8.3 Membuka *Drain* Kran Saluran Bahan Bakar

- E. Mengoperasikan mesin diesel dengan menggunakan tuas yang diputar pada mesin *diesel*



Gambar 8.4 Pengoperasian Mesin *Diesel*

- F. Setelah mesin beroperasi, atur kecepatan pada mesin sesuai yang diinginkan, lalu masukkan limbah pada mesin pencuci limbah kantong plastik



Gambar 8.5 Mengatur Kecepatan Mesin *Diesel*

- G. Limbah akan teraduk di mesin pencuci selama waktu yang kita tentukan untuk menjalani proses pencucian.



Gambar 8.6 Proses Pencucian Limbah Kantong Plastik

- H. Setelah proses pencucian selesai sesuai dengan waktu yang kita tentukan tercapai, hentikan mesin *diesel* dengan cara menurunkan kecepatan pada mesin *diesel*.
- I. Membuka kran *drain* air, untuk membuang sisa air cucian.



Gambar 8.7 Membuka Drain *Drain* Air

- J. Mengeluarkan limbah yang udah dicuci dalam wadah mesin pencuci limbah kantong plastik
- K. Menutup kembali kran *drain air*



Gambar 8.8 Menutup *Drain* Kran Air

- L. Menutup kembali *drain* kran minyak



Gambar 8.9 Menutup *Drain* Kran Minyak

C. Pengeringan Limbah Kantong Plastik

Kantong plastik yang telah melewati proses pencucian memerlukan proses penghilangan kadar air melalui proses pengeringan agar limbah kantong plastik yang akan menjadi bahan baku proses pirolisis benar-benar kering guna mempersingkat waktu pirolisis dan bahan bakar minyak yang dihasilkan akan lebih murni. Pengeringan limbah kantong plastik dilakukan dengan menggunakan mesin pengering limbah kantong plastik. Proses pengeringan limbah kantong plastik adalah sebagai berikut :

1. Pergunakan peralatan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) yaitu masker dan sarung tangan
2. Memastikan drum tertutup rapat dan terkunci.
3. Memastikan adanya air radiator dan bahan bakar
4. Sebelum mengoperasikan mesin *diesel*, buka terlebih dahulu *drain* kran saluran minyak.



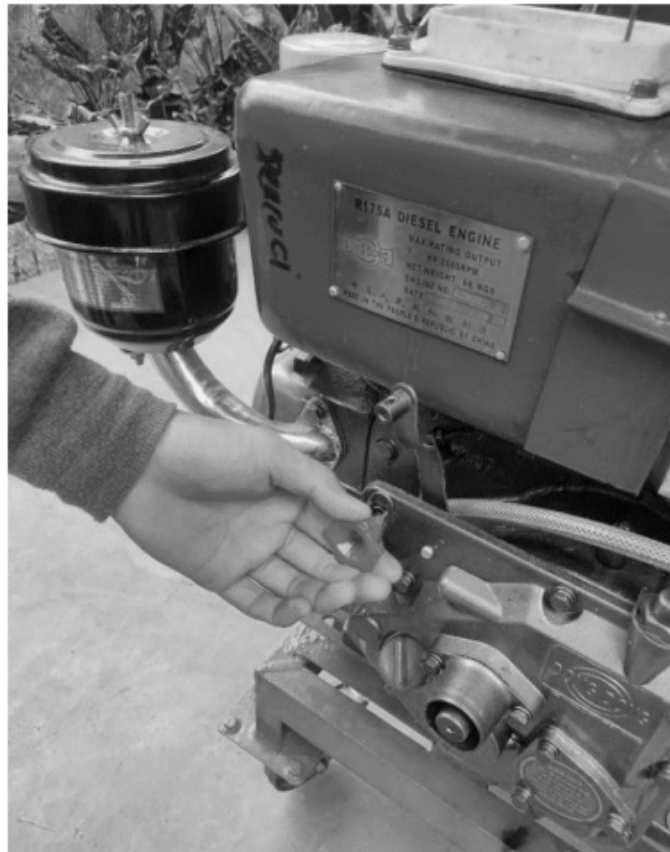
Gambar 8.10 Membuka *Drain* Kran Saluran Bahan Bakar

5. Operasikan mesin *diesel* dengan mengengkol mesin dengan tuas yang telah tersedia.



Gambar 8.11 Mengoperasikan Mesin *Diesel*

- Setelah mesin beroperasi, atur kecepatan pada mesin sesuai yang diinginkan untuk putaran poros sudu pengering limbah kantong plastik.



Gambar 8.12 Mengatur Kecepatan pada Mesin *Diesel*

- Masukkan limbah kantong plastik ke dalam lubang pemasukan limbah



Gambar 8.13 Masuknya Limbah Ke Dalam Saluran Masuk



Gambar 8.14 Proses Pengeringan Limbah Kantong Plastik

8. Tutup kembali *drain* kran saluran minyak.
9. Matikan mesin sesuai waktu yang ditentukan.
10. Buka tutup atas drum, agar limbah kantong plastik yang masih tersangkut bisa di ambil kembali.



Gambar 8.15 Limbah Kantong Plastik Kering yang Tersisa Di Rak Pengering

11. Satukan limbah kantong plastik yang telah kering dilubang pengeluaran dan yang tertinggal didalam drum



Gambar 8.16 Limbah Kantong Plastik Kering yang Keluar Dan yang Tersisa Di Bak Pengereng

D. Pirolisis Limbah Kantong Plastik

Setelah limbah kantong plastik melewati proses pencucian dan pengeringan, limbah kantong plastik yang telah bersih dan kering dapat diproses di mesin pirolisis. Limbah kantong plastik tidak memerlukan perlakuan pengecilan ukuran atau disobek-sobek terlebih dahulu karena temperatur pirolisis telah di seting di atas titik lebur plastik jenis LDPE.

Penggunaan katalis juga dapat ditambahkan dalam proses pirolisis. Penambahan katalis dimasukkan ke dalam reaktor bersamaan dengan memasukkan limbah kantong plastik ke reaktor. Fungsi katalis dapat memperbanyak perolehan bahan bakar minyak yang dihasilkan (Perolehan volume dalam satuan % volume). Pirolisis limbah kantong plastik dilakukan dengan menggunakan mesin pirolisis dengan tahapan sebagai berikut :

1. Mengisi air pendingin pada bak air pendingin di unit kondensor



Gambar 8.17 Pengisian Air Pendingin pada Kondensor

2. Membuka tempat pemasukan limbah kantong plastik pada bagian atas tabung reaktor



Gambar 8.18 Membuka Tempat Pemasukan Limbah Kantong Plastik

3. Memasukkan 3 kg limbah kantong plastik ke reaktor. Bila menggunakan katalis maka katalis sebanyak 1% volume.



Gambar 8.19 Memasukkan Limbah Kantong Plastik Ke Reaktor

4. Menutup kembali tempat pemasukan limbah kantong plastik
5. Mengoperasikan gas regulator reaktor pirolisis



Gambar 8.20 Menyalakan Tungku Reaktor Pirolisis

6. Mengiputkan temperatur yang disetting atau diinginkan (200°C, 250°C dan 300°C)
7. Menunggu temperatur setting tercapat dan menunggu proses pirolisis, sambil mengganti air pendingin setiap 1 jam dan menampung bahan bakar minyak yang dihasilkan dari kondensasi di

kondensor dan penampungan tar.



Gambar 8.21 Proses Menunggu Tercapainya Temperatur Setting Di Reaktor



Gambar 8.22 Penampungan Bahan Bakar Minyak yang Dihasilkan

8. Setelah bahan bakar minyak tidak menetes lagi, maka matikan tungku reaktor pirolisis, buka tempat pemasukan limbah kantong plastik dan tunggu hingga temperatur reaktor sama dengan temperatur ruang dengan membaca temperatur pada panel control temperatur.



Gambar 8.23 Bahan Bakar Minyak yang Dihasilkan

9. Jika temperatur reaktor telah sama dengan temperatur ruang, bersihkan char pada reaktor dan buang air pendingin kondensor.

E. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Limbah Kantong Plastik

Bahan bakar minyak yang berasal dari pirolisis sangat mirip dengan minyak mentah sehingga tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar atau sumber energy lainnya sehingga diperlukan spesifikasi standar untuk memastikannya. Karakteristik spesifikasi standar telah ditetapkan oleh ASTM Standar Setelah bahan bakar minyak yang dihasilkan didapatkan, maka dilakukan uji karakteristik terhadap bahan bakar minyak yang dihasilkan. Pengujian/analisa dilakukan terhadap hasil bahan bakar minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis berkatalis dan tidak berkatalis. Metode analisa karakteristik bahan bakar minyak dilakukan menggunakan metode ASTM dengan jenis metode sesuai dengan parameter analisisnya ditunjukkan pada Tabel.

Tabel 8.1 Metode Analisa

Parameter Analisa	Metode
Cetane index	ASTM D 4737
Density @15°C	ASTM D 1298/D 4052
Sulfur Content	ASTM D 4294
Kinematic Viscosity @40°C	ASTM D 445
Flash Point	ASTM D 93
Caloric Value	ASTM D 240

Hasil pengujian karakteristik bahan bakar minyak yang dihasilkan dari pirolisis limbah kantong plastik ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 8.2 Hasil Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Berkatalis

Parameter Analisa	Satuan	Kerosine	Solar	Bahan bakar minyak limbah plastik LDPE		
				200°C	250°C	300°C
Cetane index	-		min 45	64	69	74
Density @15°C	kg/m ³	max 836	min 815, max 860	759	779	783
Sulfur Content	ppm	max 2,500	max 500	124	21	275
Kinematic Viscosity @40°C	mm ² /s		min 2, max 4.5	0.47	0.61	0.56
Flash Point	°C	min 38	min 52	31.2	29.2	28.3
Caloric Value	MJ/kg	46.5	43.5-55.7	32.69	27.20	28.75
Perolehan volume pada 200°C	% vol	min 18		14.57	91.01	43.69

Tabel 8.3 Hasil Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Tidak Berkatalis

Parameter Analisa	Satuan	Kerosine	Solar	Bahan bakar minyak limbah plastik LDPE		
				200°C	250°C	300°C
Cetane index	-		min 45	56	66	71
Density @15°C	kg/m ³	max 836	min 815, max 860	755	776	788
Sulfur Content	ppm	max 2,500	max 500	53	81	102
Kinematic Viscosity @40°C	mm ² /s		min 2, max 4.5	0.42	0.98	0.42
Flash Point	°C	min 38	min 52	29.5	30.1	28.1
Caloric Value	MJ/kg	46.5	43.5-55.7	31.68	28.76	26.92
Perolehan volume pada 200°C	% vol	min 18		8.01	36.41	10.93

1. Karakteristik *cetane index* bahan bakar minyak

Cetane index merupakan indikator kecepatan pembakaran untuk bahan bakar solar. Pada Tabel 7.2 dan 7.3 terlihat bahwasanya kenaikan temperatur diikuti dengan kenaikan *cetane index*, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur maka terbentuk senyawa *non volatile* yang meningkatkan *cetane index*. *Cetane index* bahan bakar yang dihasilkan telah memenuhi standar spesifikasi bahan bakar solar untuk proses pirolisis berkatalis maupun tanpa katalis untuk semua variasi temperatur. *Cetane index* pada Tabel 7.2 dan 7.3 tidak bisa mengkategorikan bahan bakar yang dihasilkan berspesifikasi kerosene karena *cetane index* kerosin standarnya adalah dibawah 45 yaitu 41.

2. Karakteristik *density* bahan bakar minyak

Terlihat pada Tabel 7.2 dan Tabel 7.3 *density* semakin meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Massa hidrokarbon akan semakin banyak karena peningkatan temperatur menaikkan konversi. Pada tabel 7.2 untuk temperatur yang sama nilai *density* lebih besar dengan adanya penggunaan

katalis. Bahan bakar minyak yang dihasilkan nilai *density*-nya telah memenuhi standar bahan bakar jenis kerosene namun jika mengacu ke spesifikasi standar bahan bakar solar, nilai *density* belum memenuhi. Namun penelitian yang sama yang dilakukan oleh Rashid Miandad dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan *reactor batch* berbahan stainless pada temperatur $> 400^{\circ}\text{C}$ mendapatkan nilai *density* 778 kg/m^3 pada bahan bakar minyak yang dihasilkan. Penambahan persentase rasio penggunaan katalis terhadap umpan limbah plastik LDPE diperlukan guna memenuhi standar spesifikasi bahan bakar solar.

3. Karakteristik *sulfur content* bahan bakar minyak

Sulfur content merupakan salah satu karakteristik bahan bakar dimana sulfur content berefek terhadap gas hasil pembakaran karena akan membentuk SO_2 yang bisa meningkatkan nilai kalor, dan untuk bahan bakar diesel *sulfur content* sendiri berfungsi sebagai pelumas namun *sulfur content* yang melebihi standar berpengaruh buruk terhadap lingkungan dengan *flue gas*-nya. Pada Tabel 7.2 dan 7.3 terlihat standar *sulfur content* pada bahan bakar minyak yang dihasilkan telah memenuhi standar karakteristik kerosin dan solar namun *sulfur content* lebih banyak jumlahnya pada bahan bakar yang dihasilkan melalui pirolisis menggunakan katalis, kecuali pada temperatur pembakaran 250°C . Penggunaan katalis zeolite alam bisa meningkatkan *sulfur content* karena katalis zeolite alam sendiri membawa endapan lemak hewan, sisa tumbuhan di hutan serta sisa industri makanan yang terbawa selama pembentukannya.

4. Karakteristik kinematic *viscosity* bahan bakar minyak

Kinematic *viscosity* menentukan dalam penanganan bahan bakar minyak pada tangki penampungan, proses pembakaran dan penentuan tipe burner serta menjadi pertimbangan dalam memilih jenis pompa. Pada Tabel 7.2 dan 7.3 terlihat bahwa nilai *kinematic viscosity* belum memenuhi standar untuk bahan bakar solar untuk setiap variasi temperatur dan variasi perlakuan pemanasan menggunakan dan tanpa menggunakan katalis. Perlu peningkatan temperatur pembakaran hingga 620°C untuk memenuhi standar bahan bakar solar.

5. Karakteristik Flash Point bahan bakar minyak

Pada Tabel 7.2 dan 7.3 nilai *flash point* bahan bakar minyak yang dihasilkan belum memenuhi standar karakteristik kerosin dan solar. Penelitian serupa yang pernah dilakukan dilakukan oleh Rashid Miandad dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan *reactor batch* berbahan stainless pada

temperatur $>400^{\circ}\text{C}$ mendapatkan nilai *density flash point* $30,5^{\circ}\text{C}$ yang juga belum memenuhi standar karakteristik kerosin dan diesel. Pada tabel 7.2 dan 7.3 terlihat bahwa penggunaan katalis dengan meningkatkan temperatur pembakaran tidak dapat meningkatkan nilai flash point pada bahan bakar minyak yang dihasilkan, begitu juga dengan peningkatan temperatur pembakaran pada perlakuan tanpa menggunakan katalis.

6. Karakteristik nilai kalor bahan bakar minyak

Nilai kalor merupakan salah satu karakteristik bahan bakar minyak dimana nilai kalor menunjukkan jumlah energy setiap massa jenis bahan bakar. Pada Tabel 7.2 dan 7.3 terlihat bahwa untuk setiap variasi temperatur dan variasi perlakuan pemanasan menggunakan dan tanpa menggunakan katalis belum memenuhi standar karakteristik kerosin maupun solar. Penelitian yang pernah dilakukan dilakukan oleh Rashid Miandad dalam melakukan pirolisis limbah plastik menggunakan reactor batch berbahan stainless pada temperatur $>400^{\circ}\text{C}$ mendapatkan nilai *caloric value* berkisar $33,6 - 53,4 \text{ MJ/kg}$. Daur ulang limbah plastik LDPE pada temperatur 350°C menggunakan katalis zeolite mendapatkan nilai *caloric value* $38,3 \text{ MJ/kg}$ dengan perbandingan katalis dan umpan 10%. Produksi bahan bakar minyak dari limbah plastik PS, PP dan PE pada temperatur 450°C menggunakan katalis zeolite sintesis mendapatkan nilai kalor $40,2 - 45 \text{ MJ/kg}$. Perlu penambahan perbandingan katalis dan umpan limbah plastik atau peningkatan temperatur untuk meningkatkan *caloric value* agar standar karakteristik bahan bakar minyak yang dihasilkan memenuhi standar kerosin dan solar.

BAB 9 PRODUK OLAHAN PIROLISIS LIMBAH PLASTIK

Limbah plastik yang sudah dikumpulkan, dipilah-pilah berdasarkan jenisnya, dibersihkan dari pengotor yang menempel, maka tiba saatnya untuk diolah dengan cara pirolisis. Proses ini akan menghasilkan produk yang secara kimiawi berbeda dengan manfaat atau kegunaan yang tentunya berbeda pula. Perbedaan ini terjadi karena beberapa sebab, yakni jenis plastik sebagai bahan baku yang digunakan dan teknik waktu, suhu dan proses pirolisis yang digunakan.

A. Jenis Plastik Bahan Baku Pirolisis

1 Secara umum, berbagai jenis plastik memiliki komposisi yang berbeda. Produk plastik 1 diproduksi secara berbeda untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda. Komposisi kimia senyawa plastik meliputi kadar air, karbon tetap, zat yang mudah menguap, dan abu. Perubahan komposisi biomassa mempengaruhi hasil produk pirolisis.

5 Jika jumlah bahan yang mudah menguap tinggi dalam kandungan plastik, sil cair meningkat, sedangkan kadar abu tinggi, hasil arang meningkat. Kandungan abu dianggap rendah untuk semua plastik, sedangkan bahan yang mudah menguap sangat tinggi. Sifat-sifat ini berarti bahwa plastik mungkin memiliki potensi tinggi untuk menghasilkan minyak cair hasil tinggi selama proses pirolisis sesuai dengan kondisi operasi.

5 Kandungan karbon yang tinggi mengindikasikan akan berubah menjadi produk akhir dengan nilai kalor yang tinggi. Untuk plastik, tergantung pada struktur kimianya, dekomposisi termal mulai terjadi pada suhu yang berbeda. Untuk plastik biasa seperti PET, HDPE, LDPE, PP, dan PS, suhu dekomposisi termal dimulai pada 350°C, sedangkan suhu dekomposisi termal PVC dimulai pada suhu yang lebih rendah dari 220°C.

Tabel 9.1 Analisis Proksimat Plastik

Type of plastics	Proximate analysis (wt%)			
	Moisture	Fixed carbon	Volatile	Ash
Polyethylene terephthalate (PET)	<0.7	14–6	92–85	<0.1
High-density polyethylene (HDPE)	<0.3	~0	99.8–94	<1.5
Polyvinyl chloride (PVC)	<0.8	7–5	94.8–85	<0.1
Low-density polyethylene (LDPE)	<0.3	~0	99.8–99	<0.4
Polypropylene (PP)	<0.4	<1.2	99.6–95	4–1
Polystyrene (PS)	<0.3	<0.2	99.8–99	<0.5
Other	<0.2	<3	99.8–97	<1

Sumber: <https://www.intechopen.com/chapters/70583>

Untuk menyesuaikan suhu pengoperasian sesuai dengan preferensi produk akhir seperti misalnya, jika diinginkan untuk menghasilkan sebagian besar gas dan arang, digunakan suhu yang lebih tinggi dari 500°C. Jika digunakan untuk menghasilkan sebagian besar cairan, digunakan suhu antara 300 dan 500°C.

Berdasar bisa tidaknya dilakukan pirolisis beberapa jenis plastik tidak dianjurkan untuk diolah dengan cara pirolisis. Alasan yang melatar belakangnya diantaranya mengandung zat yang berbahaya dan memiliki rendemen minyak yang rendah. PVC dan PET adalah plastik jenis yang dimaksud karena rendemen minyak yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis plastik lainnya.

B. Waktu, Suhu dan Proses Pirolisis

Berdasarkan teknik pirolisis waktu suhu dan proses dibagi menjadi tiga kelompok dasar yakni lambat, cepat dan kilat.

1. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*).

Pirolisis lambat juga disebut karbonisasi, adalah pemanasan biomassa organik secara perlahan tanpa adanya oksigen pada suhu hampir 500°C. Volatil dari bahan organik menguap sebagian, dan produk yang dihasilkan berupa sekitar 80% karbon yang merupakan arang padat.

2. Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*).

Adalah pemanasan cepat biomassa organik sering dalam kisaran antara 425 dan 500°C tanpa adanya udara. Uap organik, arang, dan gas diproduksi dalam kondisi ini. Pada tahap selanjutnya dari proses, uap dikondensasi menjadi minyak pirolitik. Umumnya, 60-75% berat bahan baku diubah menjadi minyak.

3. Pirolisis kilat (*flash pyrolysis*).

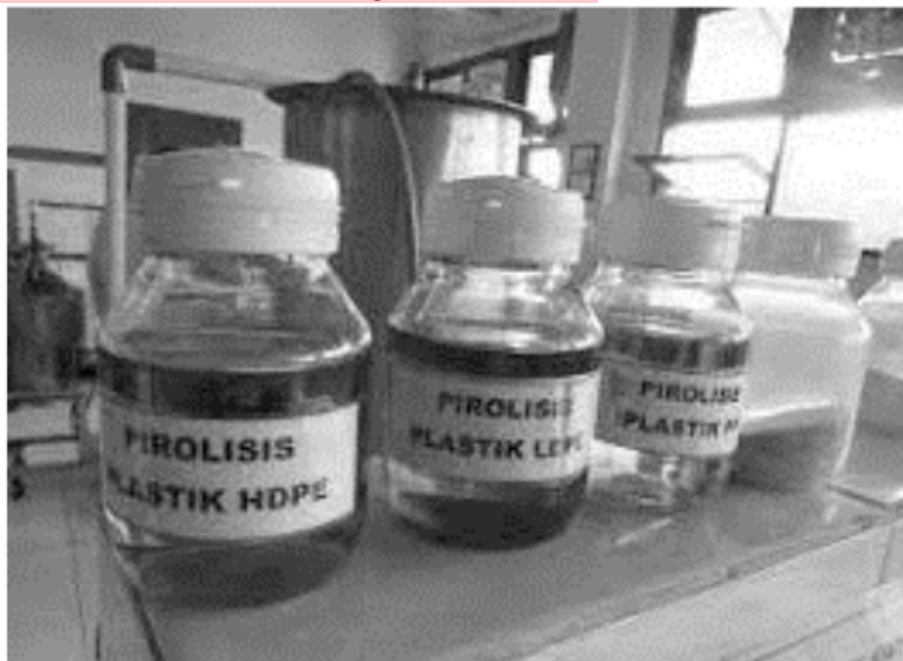
Adalah proses perengkahan termal pada laju pemanasan yang sangat tinggi dengan waktu tinggal uap yang sangat singkat dengan suhu pirolisis tinggi sekitar 450 dan 1000°C. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk meminimalkan retak sekunder. Dengan demikian, hasil cairan dimaksimalkan dan bisa naik hingga 75%.

Tabel 9.2 Parameter operasi dan hasil produk untuk jenis pirolisis

Tipe pirolisis	Waktu retensi	Tingkat pemanasan	Suhu (°C)	Hasil cair (%)
Lambat	30 mnt–5	Rendah	650–300	<30
Cepat	<2 det	Tinggi	600–450	75–50
Kilat	<1 det	Sangat tinggi	1000–450	>75

C. Produk Sampingan Pirolisis Limbah Plastik

Produk utama yang diperoleh dari pirolisis dapat digunakan tanpa pengolahan. Selain itu, dapat dikonversi menjadi produk sekunder setelah teknik perbaikan produk. Produk cair yang diperoleh dari pirolisis dapat diubah menjadi bahan bakar dengan sifat yang sangat mirip dengan bahan bakar diesel atau bensin setelah proses sekunder.



Gambar 9.1 Minyak hasil pirolisis limbah plastik

(<https://menara62.com/dosen-uad-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm/>)

Produk gas pirolisis plastik sebagian besar mengandung karbon dioksida, karbon monoksida, hidrogen, etana, metana, etilen, dan lain-lain. Gas produk

pirolisis dapat memberikan panas untuk reaktor pirolisis, yang merupakan bagian dari sistem, atau dapat digunakan untuk pembangkitan panas dan listrik dalam sistem siklus gabungan turbin gas.



Gambar 9.2 Pemanfaatan Gas Hasil Pirolisis

(<http://ejournal.kemenperin.go.id>)

Produk padat yang memiliki luas permukaan tinggi dan pori-pori besar serta terlepas sebagai hasil proses pirolisis yang diterapkan pada biomassa dapat digunakan sebagai karbon aktif. Dengan kata lain, kandungan arang terdiri dari residu organik terkondensasi dan fase anorganik, dengan nilai kalor tinggi rata-rata 28,5-29 MJ/kg



Gambar 9.3 Carbon Black Hasil Pirolisis

(<https://www.hmicronpowder.com/brochures-and-videos/article/carbon-black-why-quality-matters/>)

D. Parameter Operasi Pirolisis

Dalam pirolisis, bahan baku dipanaskan sampai suhu tertentu pada laju pemanasan tertentu tanpa oksigen dan ditahan di sana selama waktu tertentu. Selama pirolisis, molekul hidrokarbon besar dipecah menjadi yang relatif lebih kecil dengan reaksi seperti depolimerisasi, dehidrasi, dekarbonilasi, dekarboksilasi, deoksigenasi, oligomerisasi, dan aromatisasi. Kuantitas dan proporsi produk pirolisis dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi biomassa, suhu pirolisis, laju pemanasan, dan efek katalis.

Berikut faktor-faktor yang memengaruhi hasil produk dari suatu proses pirolisis:

1. Tingkat pemanasan

Hasil produk yang diperoleh dalam proses pirolisis bervariasi tergantung pada laju pemanasan. Semakin tinggi laju pemanasan, semakin cepat volatil terbentuk, dan semakin rendah laju pemanasan, semakin lama waktu tinggal untuk volatil. Dengan demikian, terjadi reaksi repolimerisasi yang membentuk char.

Tingkat pemanasan yang lebih tinggi meminimalkan pembentukan arang. Pada tingkat pemanasan yang lebih rendah, produk utamanya adalah

arang, yang bekerja untuk waktu yang lama (beberapa hari). Proses ini disebut dengan istilah karbonisasi.

Dengan meningkatnya laju pemanasan, tingkat konversi produk akhir dan hasil gas meningkat, sedangkan hasil minyak dan arang menurun. Sebagian besar studi dalam literatur memiliki tren serupa hasil produk bervariasi sesuai dengan bahan baku yang digunakan.

Tabel 9.3 Produk Dihasilkan dari Pirolisis Campuran Plastik dengan Perubahan Suhu.

Product (%)	Temperature (°C)				
	500	550	600	650	700
Gas	9.79	24.52	43.33	88.76	68.81
Wax	17.28	18.56	8.72	0	0
Oil	37.79	38.55	34.44	20.49	18.44
Char	2.82	5.87	7.59	—*	—*

*Tidak tersedia.

2. Suhu

Suhu di mana pirolisis terjadi adalah faktor terpenting dalam distribusi produk. Hasil cair tergantung pada suhu reaksi, jenis biomassa, waktu tinggal uap panas, dan penggunaan katalis. Penting untuk dicatat bahwa efisiensi maksimum tidak sama dengan kualitas maksimum. Jika kualitas cairan perlu dioptimalkan, parameter operasi proses harus ditentukan dengan cermat.

Dengan meningkatnya suhu, hasil arang menurun sementara hasil gas meningkat. Selain itu, saat suhu meningkat hingga 500°C, hasil cairan meningkat. Semakin tinggi suhu, semakin banyak produk cair berubah menjadi gas. Setelah hasil cair maksimum diperoleh dalam kisaran suhu 550-550°C, hasil cair menurun dengan meningkatnya suhu.

3. Ukuran partikel

Ukuran partikel secara signifikan efektif dalam menghasilkan produk pirolisis, terutama batubara dan minyak. Secara umum, dengan bertambahnya ukuran partikel, suhu inti partikel lebih rendah daripada suhu permukaan. Ini menghasilkan gradien suhu yang lebih tinggi di dalam partikel. Oleh karena itu, dibutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan proses pirolisis. Jika pirolisis cepat atau lambat akan dilakukan, biomassa perlu dibagi menjadi partikel-partikel kecil. Akibatnya, hasil arang meningkat dengan meningkatnya ukuran partikel dan hasil minyak dan gas meningkat dengan menurunnya ukuran partikel. Selain itu, ukuran partikel biomassa kecil diperlukan untuk mencapai tingkat pemanasan biomassa yang tinggi

4. Waktu tinggal

Waktu tinggal volatil merupakan faktor penting untuk mempengaruhi hasil produk cair dan gas dalam biomassa. Waktu tinggal yang lebih lama memungkinkan pembentukan reaksi sekunder seperti perengkahan termal, repolimerisasi, dan rekondensasi, sehingga mengurangi hasil cairan. Temperatur yang lebih tinggi dan waktu tinggal volatil yang lebih lama meningkatkan konversi biomassa menjadi gas.

5. Efek katalis

Katalis digunakan untuk mempercepat reaksi kimia. Dalam proses menggunakan katalis, energi aktivasi dari proses berkurang dan dengan demikian laju reaksi meningkat. Kasus ini mengurangi suhu optimal yang diperlukan untuk proses. Parameter terpenting yang mencegah penerapan proses pirolisis adalah konsumsi energi yang tinggi. Jadi, penggunaan katalis dapat membantu menghemat energi Waktu reaksi dipersingkat dengan menggunakan katalis dalam pirolisis biomassa plastik.

Tabel 9.4 Beberapa Sifat Fisik dan Kimia Bahan Bakar Pirolitik yang Dihasilkan dari Berbagai Jenis Plastik

Properties	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	GasIn	Diesel
Calorific value (MJ/kg)	28.2	40.5	21.1	39.5	40.8	43.0	42.5	43
Viscosity (mm ² /s)	n.a	5.08a	6.36b	5.56c	4.09a	1.4d	1.17	4.1–1.9
Density @ 15°C (g/cm ³)	0.90	0.89	0.84	0.78	0.86	0.85	0.78	0.81
Pour point (°C)	n.a	-5	n.a	n.a	-9	-67	—	6
Flash point (°C)	n.a	48	40	41	30	26.1	42	51
Octane number MON (min)	n.a	85.3	n.a	n.a	87.6	n.a	85–81	—
Octane number RON (min)	n.a	95.3	n.a	n.a	97.8	98–90	91.95	—
Diesel index	n.a	31.05	n.a	n.a	34.35	n.a	—	40

Keterangan:

^a at 40°C. ^b at 30°C. ^c at 25°C. ^d at 50°C. n.a. not available

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Joshi and R. Punia, "Conversion of Plastic Wastes into Liquid Fuels-a Review Micro Gasifier Designing View project Plastic Waste Management View project," , vol 3, pp. 5-12,2014.
- [2] A. Okunola, O. Kehinde, A. Oluwaseun, and A. Olufiro, "Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review," *J. Toxicol. Risk Assess.*, vol. 5, no. 2, 2019, doi: 10.23937/2572-4061.1510021.
- [3] C. J. Rhodes, "Plastic pollution and potential solutions," *Sci. Prog.*, vol. 101, no. 3, pp. 207–260, 2018, doi: 10.3184/003685018X15294876706211.
- [4] D. Jatireja and J. Barat, "Pendidikan Lingkungan : Plastic Pollution Awareness," vol. 1, no. 2, pp. 88–100, 2019.
- [5] E. Anzar, S. Yusi, Y. Bow, "Purification of Crude Glycerol for Biodiesel By-product by Adsorption using Bentonite," *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry (IJFAC)* 3(3), 2018.
- [6] E. S. Y. S. Martini and Rusdianasari, "Separation process Biodiesel from Waste Cooking Oil using Ultrafiltration Membranes," *Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST)*, 2016.
- [7] J. U. Putra, L. Kalsum, Y. Bow, "Effect of DC Voltage on Prototype of Biodiesel Electrostatic Separator with Glycerin from Waste Cooking Oil," *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry (IJFAC)* 3(3), 2018.
- [8] Mafruddin, U. S. Dharma, and A. Nuryanto, "Pengaruh Geometri Pipa Kondensor Terhadap," vol. 6, no. 2, pp. 193–197, 2017.
- [9] M. N. Alam, "Pyrolysis of Polypropylene (PP) Into Liquid Fuel Using CaO Catalyst," no. September, pp. 13–14, 2019.

- [10] Novarini and H. Porawati, "Jurnal Inovator Analisa Temperatur dan Waktu Terhadap Hasil Bahan Bakar Minyak," vol. 1, no. 2, pp. 18–21, 2018.
- [11] Novarini, Rusdianasari, Y Bow, and S Kurniawan, "Study of Temperature and Use of Catalysts in The Pyrolysis of LDPE Plastic Waste on The Quantity of Oil Fuel Products Produce," Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST), 2020.
- [12] Novarini, S Kurniawan, Rusdianasari and Y Bow, "Waste-to-Energy (WTE) Method to Mitigate Harmful Environmental and Health Consequences Due to LDPE Plastic Waste" Sriwijaya International Conference on Earth Science and Environmental Issue, 2020.
- [13] Novarini, S Kurniawan, Rusdianasari and Y Bow, "Kajian Karakteristik dan Energi pada Pirolisis Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)", Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, Vol 5, No 1, 2021.
- [14] Novarini, S Kurniawan, Rusdianasari, Y Bow and A I Rifa'I, "Condenser Design on Plastic Oil Distillation Equipment," International Summit on Science Technology and Humanity (ISETH), 2020.
- [15] Novarini, S Kurniawan, Rusdianasari and Y Bow, "Waste-to-Energy (WTE) Method to Mitigate Harmful Environmental and Health Consequences Due to LDPE Plastic Waste," Sriwijaya International Conference on Earth Science and Environmental Issue, 2021.
- [16] O. P. Karthikeyan, K. Heimann, and S. S. Muthu, "Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals," Springer, p. 429, 2016, doi: 10.1007/978-981-10-0150-5.
- [17] RAN Moulita, R Rusdianasari, L Kalsum, "Biodiesel production from Waste Cooking Oil using Induction Heating Technology," Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry (IJFAC) 5(1), 2020.
- [18] R. Miandad, M. A. Barakat, M. Rehan, A. S. Aburiazaiza, I. M. I. Ismail, and A. S. Nizami, "Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic 207 zeolite catalysts," Waste Manag., vol. 69, pp. 66–78, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.032.
- [19] R Ploetz, R Rusdianasari, and E Eviliana, "Renewable Energy: Advantages and Disadvantages," Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST), 2016.
- [20] Rusdianasari, Y Bow, RAN Moulita, "Temperature Effect on the Biodiesel

- Quality from Waste Cooking Oil by Induction Heating,” *Journal of Physics: Conf. Series* 1450 012003, 2020.
- [21] Rusdianasari, A Syarif, M Yerizam, MS Yusi, L Kalsum, Y Bow, “Effect of Catalyst on the Quality of Biodiesel from Waste Cooking oil by Induction Heating,” *Journal of Physics: Conf. Series* 1500 012052, 2020.
- [22] R. Verma, K. S. Vinoda, M. Papireddy, and A. N. S. Gowda, “Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 35, pp. 701–708, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.069. [17] J. Weinberg, P. Orris, M. McCally, and J. Thornton, “Dioxin prevention and medical waste incinerators,” *Public Health Rep.*, vol. I, no. August, pp. 298–313, 1996. 208
- [23] S Susumu, R Rusdianasari, S Yusi, “Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Electrostatic Method,” *Indonesia Journal of Fundamental and Applied Chemistry (IJFAC)* 3(3), 2018.
- [24] Sukadi and Novarini, “Rancang Bangun Alat Pirolisis Untuk Daur Ulang Sampah Plastik”, *Jurnal Teknika*, Vol 5, No 2, 2017.
- [25] V. Nindita, “Studi Berbagai Metode Pembuatan BBM dari Sampah Plastic Jenis LDPE dan PVC dengan Metode Thermal & Catalytic Cracking (Ni-Cr/ZEOLIT).”, vol 10, no 3, pp. 137-144, 2015.
- [26] W. Trisunaryanti, “Optimization of Time and Catalyst/Feed Ratio in Catalytic Cracking of Waste Plastics Fraction to Gasoline Fraction Using Cr/Natural Zeolite Catalyst,” *Indones. J. Chem.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–40, 2010, doi: 10.22146/ijc.21930.
- [27] S Yunsari, Rusdianasari, A Husaini, “CPO Based Biodiesel Production using Microwaves Assisted Method” *Journal of Physics: Conf. Series* 1167(1) 012036, 2019.
- [28] Y Bow, “Pengolahan sampah low density polyethylene (LDPE) dan polypropylene (pp) menjadi bahan bakar cair alternatif menggunakan prototipe pirolisis thermal cracking,” *Jurnal Kinetika* 9(3), 2020.
- [29] Y. Bow, Rusdianasari, and L. Sutini Pujiastuti, “Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste into Liquid Fuel,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 347, no. 1, doi: 10.1088/1755-1315/347/1/012128. 2019.
- [30] Yunsari, A Husaini, R Rusdianasari, “Effect of variation of Catalyst

Concentration in the producing of biodiesel from Crude Palm Oil using Induction Heater,” Asian Journal of Applied research for Community Development and Empowerment (AJARCDE) Vol. 3 No. 1, 2019.

[31] Z. Azharman, D. Meldra, Y. Mardiansyah, and Y. M. Damanik, “Usulan Perancangan Reaktor Pirolisis pengubah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak,” vol 2, pp. 259_264, 2019.

[32]

BIODATA PENULIS



Novarini, S.T, M.T. adalah tenaga pendidik (dosen) di Prodi Teknik Mesin Politeknik Jambi. S1 Teknik Kimia diselesaikan di Universitas Sriwijaya Palembang dan S2 Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin Makassar. Bidang penelitian penulis adalah konversi energi. Saat ini penulis melakukan riset energi terbarukan dari limbah kantong kresek



Sigit Kurniawan, S.Si, M.Si. adalah tenaga pengajar (dosen) di Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Jambi. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 Fisika Instrumentasi di Universitas Brawijaya Malang. Saat ini penulis sedang melakukan riset terkait ozon dan aplikasi untuk pengolahan limbah rumah tangga.



Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., I.P.M. adalah dosen tetap di Politeknik Negeri Sriwijaya pada Program Studi Teknik Energi Terbarukan. Gelar Ir. diperoleh dari Universitas Sriwijaya Jurusan Teknik Kimia, M.Si dari Institut Teknologi Bandung dan Dr. Ilmu Lingkungan dari Universitas Sriwijaya. Saat ini penulis melakukan riset terkait energi terbarukan biofuel dan hydrogen.



Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S. adalah dosen tetap di Politeknik Negeri Sriwijaya pada Program Studi Teknik Energi. Menyelesaikan S1 di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, S2 di Universitas Padjadjaran dan S3 Ilmu Lingkungan di Universitas Sriwijaya. Saat ini penulis melakukan riset terkait sensor molecularly imprinted polymer (MIP).

ORIGINALITY REPORT

10% EN

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	mts.intechopen.com Internet Source	2%
2	Submitted to Open Learning Student Paper	1%
3	Eka Merdekawati Djafar, Tri Fenny Widayanti, M. Zulfan Hakim, Syarif Saddam Rivannie, Rastiawaty. "Analysis of law enforcement on Marine Debris in Indonesia", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022 Publication	1%
4	www.bphmigas.go.id Internet Source	1%
5	www.intechopen.com Internet Source	<1%
6	Submitted to President University Student Paper	<1%
7	S M Abukasim, F Zuhria, Z Saing. "Alternative management of plastic waste", Journal of Physics: Conference Series, 2020 Publication	<1%
8	ijbel.com Internet Source	<1%
9	repository.um-palembang.ac.id Internet Source	<1%
10	Apip Amrullah. "Gasoline and Synthetic Fuel from Plastic Waste", International Journal of	<1%

Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, 2016

Publication

11	kikimau.wordpress.com Internet Source	<1 %
12	Submitted to Sekolah Ciiputra High School Student Paper	<1 %
13	journal.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
14	Frederick S. Baker, Charles E. Miller, Albert J. Repik, E. Donald Tolles. "Activated Carbon", Wiley, 2000 Publication	<1 %
15	Submitted to Universiti Teknologi MARA Student Paper	<1 %
16	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
17	ipfs.io Internet Source	<1 %
18	Suryadimal, Rizky Arman, Elmi Sundari, Yeasy Darmayanti, Raimon Efendi. "Experimental Study of Heat Transfer Using Water – Cooled Condensers to Increase Oil Production from Plastic Waste", Journal of Physics: Conference Series, 2021 Publication	<1 %
19	www.thefreelibrary.com Internet Source	<1 %
20	custom-essay-cheap.com Internet Source	<1 %
21	ekaintancahyani.blogspot.com Internet Source	<1 %
22	kc.umn.ac.id Internet Source	<1 %

<1 %

23

www.craftechind.com

Internet Source

<1 %

24

Submitted to PSB Academy (ACP eSolutions)

Student Paper

<1 %

25

Submitted to Tresham College of Further and Higher Education

Student Paper

<1 %

26

Submitted to Binus University International

Student Paper

<1 %

27

Submitted to University of Newcastle upon Tyne

Student Paper

<1 %

28

iezahazizahnurul.wordpress.com

Internet Source

<1 %

29

Elanda Fikri, Reta Mutiara Farid, Yosephina Septiati, Nanny Djuhriah, Neneng Hanurawaty, Amar Khair. "Effect of Zeolite and Activated Carbon Thickness Variation as Adsorbent Media in Reducing Phenol and Manganese Levels in Wastewater of Non-Destructive Testing Unit", Journal of Ecological Engineering, 2022

Publication

<1 %

30

123dok.com

Internet Source

<1 %

31

Submitted to South Birmingham College

Student Paper

<1 %

32

www.researchgate.net

Internet Source

<1 %

33

Submitted to Universitas Jember

Student Paper

<1 %

34	Submitted to South West College Student Paper	<1 %
35	Submitted to Dundalk Institute of Technology Student Paper	<1 %
36	Fitriaty Fitriaty, Tona Aurora Lubis, Ningsi Trilianah. "The influence of fuel oil prices on profitability with corporate social responsibility as moderating variable (Empirical study of companies in oil and gas mining industry listed on Indonesia Stock Exchange)", Jurnal Perspektif Pembiayaan dan Pembangunan Daerah, 2018 Publication	<1 %
37	dspace.nau.edu.ua Internet Source	<1 %
38	reliefweb.int Internet Source	<1 %
39	www.pertamina.co.id Internet Source	<1 %
40	Submitted to University of Stellenbosch, South Africa Student Paper	<1 %
41	books.pakchem.net Internet Source	<1 %
42	yoriyuliandra.com Internet Source	<1 %
43	Submitted to National School of Business Management NSBM, Sri Lanka Student Paper	<1 %
44	repository.unsoed.ac.id Internet Source	<1 %
45	Submitted to Universitas Mataram Student Paper	<1 %

46	dokumen.tips Internet Source	<1 %
47	www.katapena.info Internet Source	<1 %
48	www.greeners.co Internet Source	<1 %
49	Submitted to University of Hull Student Paper	<1 %
50	sisariyantimedia.com Internet Source	<1 %
51	www.fashionatingworld.com Internet Source	<1 %
52	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
53	ssli.ee.washington.edu Internet Source	<1 %
54	vdoc.pub Internet Source	<1 %
55	www.springerprofessional.de Internet Source	<1 %
56	oar.icrisat.org Internet Source	<1 %
57	"Preface", Journal of Physics: Conference Series, 2021 Publication	<1 %
58	Tahdid, Aida Syarif, Lety Trisnaliani, Sahrul Effendy. "Study of Plastic Waste Power Plants Capacity Unit 1 KWh Using Plastic Bags Based on Effectiveness Produced in Optimum Load", Journal of Physics: Conference Series, 2020 Publication	<1 %
59	Submitted to University of Wolverhampton	

<1 %

60

lowonganperkerjaan.info

Internet Source

<1 %

61

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

62

Widojoko, Lilies, and P. Eliza Purnamasari. "Study the Use of Cement and Plastic bottle Waste as Ingredient Added to the Asphaltic Concrete Wearing Course", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2012.

Publication

<1 %

63

orbi.umons.ac.be

Internet Source

<1 %

64

www.coursehero.com

Internet Source

<1 %

65

"Chapter 4 Biorenewable Liquid Fuels", Springer Science and Business Media LLC, 2009

Publication

<1 %

66

2019carscomingout.com

Internet Source

<1 %

67

byjus.com

Internet Source

<1 %

68

kipdf.com

Internet Source

<1 %

69

Environmental Microbiology of Aquatic and Waste Systems, 2011.

Publication

<1 %

70

Ni Nyoman Ayu Indah Trisnayanthi, Joke Pratilastiarso, Dendy Satrio. "Effects of Fuel Replacement on the Performance and Fuel Consumption of Steam Power Plant", 2020

<1 %

International Electronics Symposium (IES), 2020

Publication

71 "Standard practice: Estimating the cost-effectiveness of coordinated DSM programs", 'Office of Scientific and Technical Information (OSTI)'
Internet Source <1 %

72 www.scribd.com
Internet Source <1 %

73 pt.scribd.com
Internet Source <1 %

74 repository.ub.ac.id
Internet Source <1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off