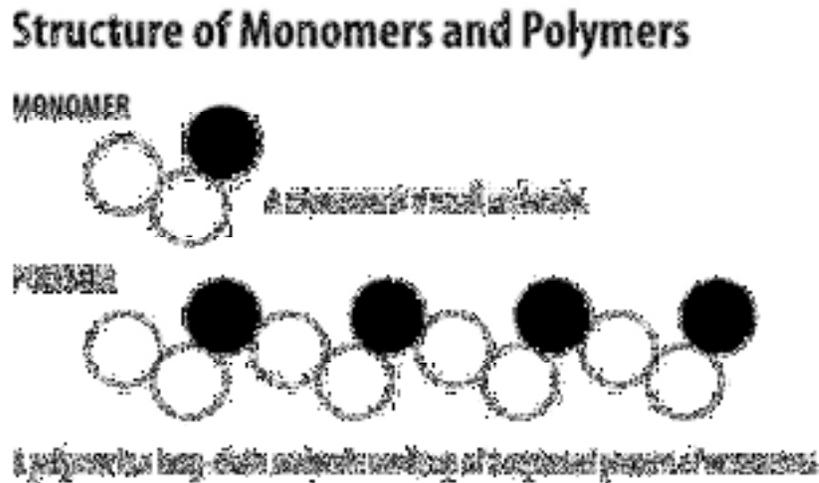


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Plastik

Plastik adalah salah satu bentuk polimer yang terdiri dari rantai panjang atau rangkaian molekul yang lebih kecil yang dikenal sebagai monomer. Dalam kimia, suatu monomer (dari bahasa Yunani mono "satu" dan meros "bagian") adalah struktur molekul yang dapat berikatan secara kimia dengan monomer lainnya untuk menyusun molekul polimer yang panjang dan berulang-ulang. Monomer dapat berupa hidrokarbon, gula, asam amino, atau asam lemak. Monomer juga tersusun dari atom yang biasanya diambil dari bahan alami atau organik dan sering diklasifikasikan sebagai petrokimia. Segala macam monomer dapat dimanfaatkan dalam pembuatan plastik. Struktur Monomer dan Polimer dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



**Gambar 2.1.** Struktur Monomer dan Polimer

(Sumber : wikipedia, diakses tanggal 12 Juli 2019)

Minyak mentah dan gas alam merupakan sumber pembuat monomer populer yang meliputi jenis stirena, vinil klorida, dan vinil asetat. Polimer dibuat dengan merangkai rantai monomer yang dapat dilakukan dengan metode thermosetting dan thermoplastic. Pada metode thermosetting, monomer cair dituangkan ke dalam

cetakan dan dibiarkan dingin. Monomer cair memiliki bentuk permanen sehingga produk yang dihasilkan bersifat tahan lama.

Dengan pendekatan termoplastik, monomer cair dipanaskan dan perlahan-lahan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu, produk kemudian didinginkan hingga menjadi item yang diinginkan. Sementara plastik umumnya dianggap sebagai produk yang murah, plastik dapat pula diproses menjadi sesuatu yang bernilai tinggi. Plastik dapat diolah lebih lanjut sehingga memiliki karakteristik tahan panas maupun dingin. Untuk mengenali berbagai jenis plastik dengan mudah yang dihubungkan dengan sistem monomer penyusunnya dilakukan pengkodean dan penomoran seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut ini..



Gambar 2.2 Nomor kode plastik

(Sumber : Untoro, 2019)

### 2.1.1 Sifat plastik

Plastik umumnya adalah hasil pengolahan minyak mentah. Adapun sifat plastik yaitu:

- a. Tidak tembus air
- b. Mudah dibentuk dan dicetak
- c. Ringan
- d. Tidak mudah pecah
- e. Mudah terbakar
- f. Lentur
- g. Tembus pandang
- h. Isolator panas dan listrik

### 2.1.2 Jenis plastik

Plastik pada umumnya mencakup produk polimerisasi sintetis yang terbentuk dari kondensasi organik. Berdasarkan sifat fisiknya, plastik terbagi atas :

- a. Termoplastik. Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: Polietilen (PE), Polistiren (PS), ABS, Polikarbonat (PC)
- b. Termoset. Merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida

Berdasarkan sumbernya, plastik terbagi atas :

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

- PET / PETE (Polyethylene Terephthalate)

Polyethylene Terephthalate (disingkat PET, PETE atau dulu PETP, PET-P) adalah suatu resin polimer plastik termoplast dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintesis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi thermoforming, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET dapat berwujud padatan amorf (transparan) atau sebagai bahan semi-kristal yang putih dan tidak transparan, tergantung kepada proses dan riwayat termalnya. Monomernya dapat diproduksi melalui esterifikasi asam tereftalat dengan etilen glikol, dengan air sebagai produk sampingnya. Monomer PET juga dapat dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi etilen glikol dengan dimetil tereftalat dengan metanol sebagai hasil samping.

Polimer PET dihasilkan melalui reaksi polimerasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasinya dengan etilen glikol sebagai produk samping (dan etilen glikol ini biasanya didaur ulang). Kebanyakan (sekitar 60%) dari produksi PET dunia digunakan dalam serat sintesis, dan produksi botol mencapai 30% dari permintaan dunia

Jenis plastik, kode dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2.1** Jenis plastik, kode dan penggunaannya

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

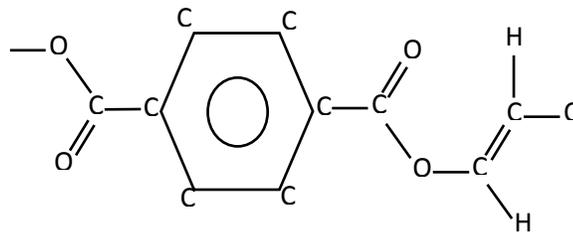
*(Taufan Landi, dkk. 2017)*

Dalam penggunaannya di bidang tekstil, PET biasanya disebut dengan poliester saja.

Sifat-sifat Fisika Polietilen Tereftalat (PET) ;

- Struktur kimia:

Struktur kimia dan contoh plastik PET dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan 2.4 berikut ini.



**Gambar 2.3** Struktur molekul PET

- Rumus molekul :  $n\text{-C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$
- Densitas :  $1370 \text{ kg/m}^3$
- Modulus young :  $2800\text{-}3100 \text{ Mpa}$
- Tensile strength :  $55\text{-}75 \text{ Mpa}$
- Temperature glass :  $75^\circ\text{C}$
- Titik leleh :  $260^\circ\text{C}$
- Konduktivitas thermal :  $0.24 \text{ W/(m.K)}$
- Panas Specific :  $1.0 \text{ KJ/(Kg.K)}$
- Penyerapan air :  $0.16$
- Viskositas intrinstik :  $0.629 \text{ dl/g}$
- Batas elastisitas :  $50 - 150 \%$



**Gambar 2.4** Contoh plastik PET

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

a. HDPE (High Density Polyethylene)

HDPE adalah High Density Polyethylene merupakan resin yang kuat dan kaku yang berasal dari minyak bumi, yang sering dibentuk dengan cara meniupnya. Rumus molekulnya yaitu  $(-CH_2-CH_2-)_n$



HDPE dapat ditemukan pada cerek susu, botol detergen, botol obat, botol oli mesin, botol shampoo, kemasan juice, botol sabun cair, kemasan kopi dan botol sabun bayi. Sifat HDPE (high density polyethylene) yaitu keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, permeabel terhadap gas, permukaan berlilin (waxy), buram (opaque), mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada suhu  $75^{\circ}C$ . Contoh plastik HDPE dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



**Gambar 2.5** Contoh plastik HDPE

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

b. PVC (Polyvinyl Chloride)

PVC adalah Polyvinyl Chloride merupakan resin yang keras yang tidak terpengaruh oleh zat kimia lain Rumus molekulnya yaitu  $(-CH_2-CHCl-)_n$



PVC dapat dijumpai pada tanda lalu lintas, botol minyak goreng, kabel listrik, botol pembersih kaca, mainan, botol shampoo, pipa air, kemasan kerut, dan kemasan makanan cepat saji. Sifat PVC (poly vinyl chloride) yaitu kuat, keras, bisa jernih, bentuk dapat diubah dgn pelarut, melunak pada suhu 80<sup>0</sup>C. Contoh plastik PVC dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



**Gambar 2.6** Contoh plastik PVC

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

c. LDPE (Low Density Polyethylene)

LDPE adalah plastik yang mudah dibentuk ketika panas, yang terbuat dari minyak bumi, dan rumus molekulnya yaitu  $(-CH_2-CH_2-)_n$



LDPE adalah resin yang keras, kuat dan tidak bereaksi terhadap zat kimia lainnya, kemungkinan merupakan plastik yang paling tinggi mutunya. LDPE dapat dijumpai pada tas plastik, botol, kotak penyimpanan, mainan, perangkat komputer dan wadah yang dicetak. Sifat LDPE (low density polyethylene) yaitu mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berkilau, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70<sup>0</sup>C. Contoh plastik LDPE dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.

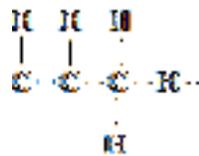


**Gambar 2.7** Contoh plastik LDPE

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

d. PP (Polypropylene)

Polypropylene merupakan plastik polymer yang mudah dibentuk ketika panas, lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Rumus molekulnya yaitu  $(C_3H_6)_n$ .



Polypropylene dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. Sifat PP (polypropylene) yaitu keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilau, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu  $140^{\circ}C$ . Contoh plastik PP dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



**Gambar 2.8** Contoh plastik PP

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

e. PS (Polystyrene)

Polystyrene adalah plastik polymer yang mudah dibentuk bila dipanaskan, sangat kaku dalam suhu ruangan. Rumus molekulnya yaitu  $(-CHC_6H_5-CH_2-)_n$ .

Polystyrene dapat dijumpai pada perkakas dari plastik, kotak CD, gelas plastik, wadah makanan dan nampan. Sifat PS (polystyrene) yaitu jernih seperti kaca, kaku, getas, buram, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, melunak pada suhu  $95^{\circ}C$ . Contoh plastik PS dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut ini.



**Gambar 2.9** Contoh plastik PS

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

f. Jenis Lain (Other)

Paling sering, produk dengan label 7 terbuat dari campuran dua atau lebih jenis plastik (1 sampai 6). Kadang kala label 7 mengindikasikan bahwa bahan baku resinnya tidak diketahui. Bisa jadi untuk segala macam benda, namun paling sering akan Anda jumpai plastik No. 7 digunakan dalam industri minuman ataupun makanan.



**Gambar 2.10** Contoh plastik Other

(Sumber :bisakimia.2013.mengenal-jenis-jenis-plastik)

## 2.2. Polimer

Polimer adalah suatu molekul raksasa (*makromolekul*) yang terbentuk dari susunan ulang molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia disebut polimer (*poly* = banyak; *mer* = bagian). Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu unit molekul yang kecil (*monomer*), saling berikatan dalam suatu rantai. Jenis-jenis monomer yang saling berikatan membentuk suatu polimer terkadang sama atau berbeda. Sifat-sifat polimer berbeda dari monomer-monomer yang menyusunnya.

Polimer merupakan senyawa-senyawa yang tersusun dari molekul sangat besar yang terbentuk oleh penggabungan berulang dari banyak molekul kecil. Molekul yang kecil disebut monomer, dapat terdiri dari satu jenis maupun beberapa jenis. Polimer adalah sebuah molekul panjang yang mengandung rantai-rantai atom yang dipadukan melalui ikatan kovalen yang terbentuk melalui proses polimerisasi dimana molekul monomer bereaksi bersama-sama secara kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier atau jaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Penggolongan polimer berdasarkan asalnya, yaitu yang berasal dari alam (polimer alam) dan polimer yang sengaja dibuat oleh manusia (polimer sintesis).

### 2.4.1 Polimer Alam

Polimer alam telah dikenal sejak ribuan tahun yang lalu, Polimer alam adalah senyawa yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. jumlahnya yang terbatas dan sifat polimer alam yang kurang stabil, mudah menyerap air, tidak stabil karena pemanasan dan sukar dibentuk menyebabkan penggunaannya amat terbatas. Contoh sederhana polimer alam seperti ; Amilum dalam beras, jagung dan kentang , pati , selulosa dalam kayu , protein terdapat dalam daging dan karet alam diperoleh dari getah atau lateks pohon karet, protein, DNA, kitin pada kerangka luar serangga, wool, jaring laba-laba, sutera dan kepompong ngengat, adalah polimer-polimer yang disintesis secara alami. Polimer alam dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

**Tabel 2.2** Contoh dari jenis-jenis polimer alam.

Polimer	Monomer	Polimerisasi	Contoh
Pati/amilum	Glukosa	Kondensasi	Biji-bijian, akar umbi
Selulosa	Glukosa	Kondensasi	Sayur, Kayu, Kapas
Protein	Asam amino	Kondensasi	Susu, daging, telur, wol, sutera
Asam nukleat	Nukleotida	Kondensasi	Molekul DNA dan RNA (sel)
Karet alam	Isoprena	Adisi	Getah pohon karet

*Sumber: Anggunchemistry.blogspot.com, 2011*

Serat-serat selulosa yang kuat menyebabkan batang pohon menjadi kuat dan tegar untuk tumbuh dengan tinggi seratus kaki dibentuk dari monomer-monomer glukosa, yang berupa padatan kristalin yang berasa manis.

#### 2.4.2 Polimer Sintetis

Polimer buatan dapat berupa polimer regenerasi dan polimer sintetis. Polimer regenerasi adalah polimer alam yang dimodifikasi. Contohnya rayon, yaitu serat sintetis yang dibuat dari kayu (selulosa). Polimer sintetis adalah polimer yang dibuat dari molekul sederhana (monomer) dalam pabrik atau polimer yang dibuat dari bahan baku kimia disebut polimer sintetis seperti polyetena, polipropilena, poly vinyl chlorida (PVC), dan nylon. Kebanyakan polimer ini sebagai plastik yang digunakan untuk berbagai keperluan baik untuk rumah tangga, industri, atau mainan anak-anak. Polimer sintetis yang pertama kali yang dikenal adalah bakelit yaitu hasil kondensasi fenol dengan formaldehida, yang ditemukan oleh kimiawan kelahiran Belgia Leo Baekeland pada tahun 1907. Bakelit merupakan salah satu jenis dari produk-produk konsumsi yang dipakai secara luas. Beberapa contoh polimer yang dibuat oleh pabrik adalah nylon dan poliester, kantong plastik dan botol, pita karet, dan masih banyak produk lain yang ada pada kehidupan sehari-hari. Berdasarkan sifatnya terhadap panas, polimer dapat dibedakan atas polimer termoplastik (tidak tahan panas, seperti plastik) dan polimer termosetting (tahan panas, seperti melamin). Klasifikasi polimer ini dibedakan menjadi dua, yaitu polimer termoplastik dan polimer termoseting.

a. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Polimer yang termasuk polimer termoplastik adalah jenis polimer plastik. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang.

Polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut:

1. Berat molekul kecil
2. Tidak tahan terhadap panas.
3. Jika dipanaskan akan melunak.
4. Jika didinginkan akan mengeras.
5. Mudah untuk diregangkan.
6. Fleksibel.
7. Titik leleh rendah.
8. Dapat dibentuk ulang (daur ulang).
9. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.
10. Memiliki struktur molekul linear/bercabang.

Contoh plastik termoplastik sebagai berikut.

1. Polietilena (PE) = Botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik dan jas hujan.
2. Polivinilklorida (PVC) = pipa air, pipa plastik, pipa kabel listrik, kulit sintesis, ubin plastik, piringan hitam, bungkus makanan, sol sepatu, sarung tangan dan botol detergen.

3. Polipropena (PP) = karung, tali, botol minuman, serat, bak air, insulator, kursi plastik, alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, pembungkus tekstil, dan permadani.
4. Polistirena = Insulator, sol sepatu, penggaris, gantungan baju.

b. Plastik Termosetting

Polimer termoseting adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer ini dipanaskan, maka tidak dapat meleleh. Sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Susunan polimer ini bersifat permanen pada bentuk cetak pertama kali (pada saat pembuatan). Bila polimer ini rusak/pecah, maka tidak dapat disambung atau diperbaiki lagi. Polimer termoseting memiliki ikatan – ikatan silang yang mudah dibentuk pada waktu dipanaskan. Hal ini membuat polimer menjadi kaku dan keras. Semakin banyak ikatan silang pada polimer ini, maka semakin kaku dan mudah patah. Bila polimer ini dipanaskan untuk kedua kalinya, maka akan menyebabkan rusak atau lepasnya ikatan silang antar rantai polimer.

Sifat polimer termoseting sebagai berikut:

1. Keras dan kaku (tidak fleksibel)
2. Jika dipanaskan akan mengeras.
3. Tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang).
4. Tidak dapat larut dalam pelarut apapun.
5. Jika dipanaskan akan meleleh.
6. Tahan terhadap asam basa.
7. Mempunyai ikatan silang antarrantai molekul.

Dari klasifikasi polimer yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat dilihat beberapa perbedaan dari polimer termoplastik dan polimer termoseting pada Tabel 2.3 di bawah ini:

**Tabel 2.3** Perbedaan Polimer Termoplastik dan Termoseting

<b>Polimer Termoplas</b>	<b>Polimer Termoset</b>
Mudah diregangkan	Keras dan Rigid
Fleksibel	Tidak Fleksibel
Tidak leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

Sumber: *Anggunchemistry.blogspot.com, 2011*

### 2.3. Bahan Bakar

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

Dengan kemudahan penggunaan, ditambah dengan *efisiensi thermis* yang lebih tinggi, serta penanganan dan pengangkutan yang lebih mudah, menyebabkan penggunaan minyak bumi sebagai sumber utama penyedia energi semakin meningkat. Secara teknis, bahan bakar merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan. Salah satu kekurangan bahan bakar ini adalah harus menggunakan proses pemurnian yang cukup kompleks. Bahan bakar adalah bahan yang apabila di bakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor yang dapat terbakar misalnya: kertas, kain, batu bara, minyak tanah, bensin dan sebagainya.

Untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 (tiga) unsur, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Oksigen
3. Suhu untuk memulai pembakaran

Panas atau kalor yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran. Kriteria umum yang harus dipenuhi bahan bakar yang akan digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut:

- a. Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder harus secepat mungkin dan panas yang dihasilkan harus tinggi.
- b. Bahan bakar yang digunakan harus tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah pembakaran karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
- c. Gas sisa pembakaran harus tidak berbahaya pada saat dilepas ke *atmosfer*.

### **2.3.1. Bahan Bakar Minyak Premium**

Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Premium adalah senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi atau tenaga. Premium merupakan campuran kompleks senyawa-senyawa *hidrokarbon* yang memiliki titik didih sekitar 40°C sampai 180°C. Bahan bakar ini sering disebut juga dengan *gasoline* atau *petrol*. Bahan bakar Premium sering digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor. Penggunaan Premium dalam mesin berkompresi tinggi akan menyebabkan mesin mengalami *knocking* sehingga Premium di dalam mesin kendaraan akan terbakar dan meledak tidak sesuai dengan gerakan piston. Premium memiliki *Research Octane Number* (RON) sebesar 88. Spesifikasi Premium dapat dilihat pada Tabel 2.4

**Tabel 2.4**Spesifikasi Premium(*Keputusan Dirjen Migas No. 940/34/DJM/2002*)

No	SIFAT	MIN	MAX
1	Angka oktan riset RON	88	-
2	Kandungan Timbal (Pb)(gr/lt)	-	0,30
3	Distilasi		
	10% Vol penguapan (0C)	-	74
	50% Vol penguapan (0C)	88	125
	90% Vol penguapan (0C)		180
	Titik Didih akhir (0)	-	205
	Residu (% Vol)		2.0
4	Tekanan Uap (kpa)	-	62
5	Getah purawa (mg/100ml)	-	5
6	Periode induksi (menit)	360	-
7	Sulfur bilah tembaga (% massa)	-	0.002
8	Korosi bilah tembaga (menit)	Kelas 1	
9	Uji dokter	Negatif	
10	Warna	Kurang	2

Bensin Premium mempunyai sifat anti ketukan yang baik dan dapat dipakai pada mesin kompresi tinggi pada saat semua kondisi. Sifat-sifat penting yang diperhatikan pada bahan bakar bensin adalah :  
 karakteristik bahan bakar bensin:

a. Kecepatan Penguapan

b. Kecepatan penguapan pada bensin diartikan sebagai mudah tidaknya bensin tersebut mengalami penguapan pada kondisi tertentu, kondisi ini akan terjadi apabila disekitar bensin terdapat kandungan oksigen yang cukup dan disertai dengan temperatur yang cukup, makin tinggi temperatur maka makin cepat juga molekul-molekul bensin mengalami penguapan.

c. Kecenderungan Berdetonasi

Kecenderungan berdetonasi memiliki peran penting bagi suatu jenis bensin, denotasi yaitu proses pembakaran di dalam mesin yang menimbulkan panas akibat pembakaran yang menyebabkan campuran bensin yang belum terkena percikan api dari busi dapat mengalami pembakaran dengan sendirinya akibat penguapan karena suhu yang panas dari proses pembakaran sebelumnya. Kecenderungan detonasi yang tinggi dapat menyebabkan pengaruh yang buruk terhadap motor, kecenderungan bensin untuk berdetonasi dinyatakan dalam bilangan oktan, bilangan oktan pada bensin ialah bilangan bulat yang terdiri dari beberapa persen campuran iso-oktana dan heptana, bilangan iso-oktana diberi nilai 100 sedangkan heptana diseri nilai nol. Jika bensin memiliki bilangan oktan 86, maka bensin tersebut memiliki campuran 86% iso-oktana dan 24% heptana. Semakin tinggi bilangan oktan yang dimiliki suatu bensin maka kecenderungan detonasi pada bensin tersebut akan semakin rendah.

d. Kadar Belerang (sulfur)

Kadar belerang yang tinggi pada bensin dapat mengganggu proses pembakaran dan merusak komponen mesin. Batas kadar belerang yang ditetapkan yaitu 2% dan dianjurkan agar lebih kecil dari batas tersebut.

e. Kadar Damar

Kadar damar pada bensin dapat menyebabkan kerusakan pada mesin seperti katup, saluran pembuangan dan torak karena sifat damar yang mudah menempel, selain berdampak buruk terhadap mesin kadar damar dapat menurunkan bilangan oktan pada bensin saat berada didalam tanki penyimpanan, jadi semakin lama proses

penyimpanan bensin maka kandungan damar akan semakin bertambah, batas kadar damar yang ditoleransi maksimum 10 mg tiap 100 cm<sup>3</sup> volume bensin.

f. Titik Beku

Suhu dimana bensin mulai mengalami pembekuan disebut dengan titik beku bensin. Proses pembekuan pada bensin dapat terjadi jika didalam bensin tersebut memiliki kandungan aromatik, aromatik – aromatik inilah yang akan mengalami pembekuan pada suhu tertentu, apabila proses pembekuan terjadi hal ini dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran alir bensin. Untuk daerah yang memiliki cuaca yang dingin maka bensin yang digunakan pada mesin kendaraan harus memiliki titik beku yang rendah, sekitar -50°C.

g. Titik Embun

Suhu dimana bensin mulai mengalami pengembunan disebut dengan titik embun bensin, saat penggunaan bensin yang memiliki titik embun yang tinggi, maka tetesan bensin yang belum menguap pada saluran isap dapat ikut masuk kedalam silinder sehingga penggunaan bensin menjadi boros, hal ini disebabkan karena di dalam silinder terdapat campuran dengan kondisi yang tidak homogen sehingga dapat menyebabkan pembakaran yang tidak baik. Pada dasarnya, titik embun pada kendaraan bermotor dibatasi dengan 140°C.

h. Titik Nyala

Titik nyala bensin adalah suhu terendah dimana uap bensin yang telah bercampur dengan udara dapat terbakar jika terkena percikan api titik nyala bensin berkisar antara -15°C sampai -43°C.

i. Berat Jenis

Berat jenis bensin sering dinyatakan dalam skala standar API (*American Petroleum Institute*), dengan standar 67,8° API atau 0,71 - 0,77<sup>kg/l</sup>.

## 2.4 Perengkahan

Perengkahan merupakan reaksi pemutusan ikatan C-C dari suatu senyawa hidrokarbon yang mempunyai rantai karbon panjang dan berat molekul besar. Pemutusan ikatan ini membuat senyawa hidrokarbon memiliki rantai karbon pendek

dan berberat molekul kecil. Pemutusan ikatan C-C dapat melalui beberapa cara tergantung kondisi reaksi perengkahan. Parafin adalah hidrokarbon yang paling mudah merengkah, disusul dengan senyawa-senyawa naftena. Sedangkan senyawa aromatik sangat sukar merengkah. Proses perengkahan yang terjadi hanya karena pemanasan dinamakan perengkahan termal (*thermal cracking*). Sedangkan proses perengkahan yang terjadi dengan bantuan katalis disebut perengkahan katalitik (*catalytic cracking*). Perengkahan termal adalah suatu proses perengkahan hidrokarbon dengan menggunakan tekanan dan temperatur yang tinggi. Sedangkan pada perengkahan katalitik, reaksi pemutusan C-C berlangsung dengan peran serta katalis dalam reaksi dan dapat berlangsung dengan temperatur dan tekanan rendah. Pemecahan rantai panjang produk pirolisis menjadi rantai yang lebih pendek dapat dilakukan melalui proses perengkahan katalitik (Suroño, 2013)

#### a) Pirolisis

Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. Istilah lain dari pirolisis adalah penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai, sebagian besar menjadi karbon. Istilah lain dari pirolisis adalah *destructive distillation* atau distilasi kering. Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar (Suroño 2013).

Pirolisis adalah proses dekomposisi dari material yang dipakai tanpa menggunakan oksigen, oksigen dapat digunakan pada saat kondisi dimana pembakaran parsial digunakan untuk memberikan energi termal pada saat proses tersebut. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan pirolisis adalah sekitar 380-530°C, dengan tekanan 0,1-0.5 Mpa. Di dalam proses pirolisis, hidrokarbon rantai panjang dipecah menjadi hidrokarbon rantai pendek. Produk pirolisis tergantung pada desain *pyrolyze*, karakteristik fisik dan kimia dari biomassa dan

parameter operasi penting seperti tingkat pemanasan, suhu pirolisis, waktu tinggal saat reaksi. Selain itu, kandungan tar dan hasil produk lain tergantung pada tekanan, komposisi ambien gas, dan adanya katalis mineral. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda. Selain itu juga, plastik polistirena merupakan plastik dengan polimer berat yang tidak dapat ditentukan ataupun dihitung jumlah molekulnya. Produk pirolisis umumnya menghasilkan, yaitu ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) yang merupakan gas non-toksik, tar (*pyrolitic oil*), dan arang (Selpiana dkk, 2016)

b) *Thermal Cracking*

Proses perengkahan thermal (*Thermal Cracking*) adalah suatu proses pemecahan rantai hydrocarbon dari senyawa rantai panjang menjadi hydrocarbon dengan rantai yang lebih kecil melalui bantuan panas. Suatu proses perengkahan thermal bertujuan untuk mendapatkan fraksi minyak bumi dengan *boiling range* yang lebih rendah dari feed (umpannya). Dalam proses ini dihasilkan gas, *gasoline* (naphtha), diesel, residu atau *coke*. Pada reaksi perengkahan akan terjadi pemutusan ikatan C-C (*C-C bond scission*), dehidrogenasi, isomerisasi dan polimerisasi (Surono, 2013)

c) *Catalytic cracking*

Perengkahan ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi pemutusan rantai hidrokarbon molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi (Surono, 2013). Konversi katalitik limbah plastik menunjukkan beberapa keunggulan dibandingkan metode pirolisis. Suhu perengkahan lebih rendah sehingga reaksi perengkahan menghasilkan konsumsi energi yang lebih rendah dan tingkat konversi yang lebih tinggi (Beyene, 2014). Penambahan katalis pada proses *cracking* juga dapat mempercepat proses reaksi pemutusan rantai hidrokarbon sehingga terbentuk fraksi-fraksi minyak bumi (Bahruddin dkk, 2006).

## 2.5 Pirolisis Sampah Polyethylene Terephthalate

Dekomposisi termal dari bahan plastik merupakan proses endotermik sehingga dibutuhkan energi minimal sebesar energi disosiasi ikatan rantai C-C di dalam rantai plastik. Energi disosiasi adalah energi yang diperlukan untuk memutus satu buah ikatan pada suatu molekul. Contohnya energi disosiasi untuk melepas ikatan  $H_2$  menjadi  $2H^+$  adalah sebesar 436 KJ/mol. Energi disosiasi ikatan rantai hidrokarbon yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.5** Energi disosiasi ikatan rantai hidrokarbon

Ikatan	Energi Ikatan kJ mol <sup>-1</sup>	Ikatan	Energi Ikatan kJ mol <sup>-1</sup>
H - H	436	C - O	350
H - C	415	C = O	741
H - N	390	C - Cl	330
H - F	569	N = N	946
H - Cl	432	O = O	498
H - Br	370	F - F	160
C - C	345	Cl - Cl	243
C = C	611	I - I	150
C - Br	275	Br - Br	190
C ≡ C	837	C ≡ N	891
O - H	464		

Sumber: Holtzclaw, General Chemistry with Qualitative Analysis

Sumber : Holtzclaw, General Chemistry with Qualitative Analysis

## 2.6 Generator Set (Genset)

Generator set adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik disebut sebagai generator set dengan pengertian satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu *engine* dan generator atau alternator. *Engine* dapat berupa perangkat mesin berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar) yang dapat membangkitkan listrik (Anggito, 2014).

### 2.6.1 Penggunaan Genset

Majunya perkembangan zaman saat ini menuntut semua peralatan menggunakan listrik, namun ketersediaan listrik semakin menipis karena tidak diimbangi dengan pembuatan pembangkit listrik baru dan kurangnya kesadaran

masyarakat tentang menghemat energi terutama energi listrik, belum semua wilayah di Indonesia ini semuanya teraliri listrik secara merata, oleh sebab itu marilah kita bisa lebih berhemat lagi untuk kehidupan yang lebih baik lagi. Sumber energi listrik dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu bisa diperbaharui dan tidak bisa diperbaharui. Contoh energi listrik yang dapat diperbaharui adalah yang disediakan oleh alam yaitu tenaga surya, gelombang laut dan angin yang sekarang masih belum dimanfaatkan secara maksimal di Indonesia, sedangkan energi listrik yang tidak dapat diperbaharui yaitu pembangkit listrik tenaga minyak, tenaga nuklir, tenaga air dan sebagainya.

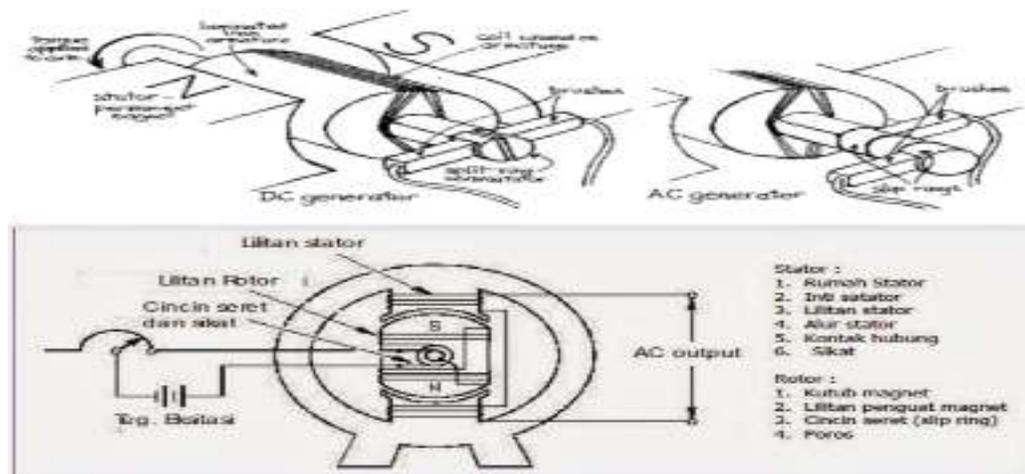
Berhubungan dengan belum maksimalnya pemanfaatan teknologi tersebut maka sering terjadi pemadaman listrik secara bergiliran dan yang lebih parah lagi pemadaman secara mendadak yang bisa menyebabkan kerusakan pada perangkat – perangkat elektronika, dikalangan pengusaha pemadaman seperti ini adalah momok yang sangat dibenci karena proses produksi otomatis terhenti dan mereka akan menderita kerugian tergantung lamanya pemadaman listrik. Penggunaan mesin Genset adalah solusi dari semua masalah tersebut, walaupun tambah biaya tetapi sebanding dengan manfaat yang di dapat. Genset akan terasa manfaatnya ketika sedang pemadaman listrik atau bisa dipakai di daerah terpencil, selain itu genset biasanya dipakai diacara hajatan pentas musik, kampanye atau *event* yang membutuhkan pasokan listrik yang besar, dari berbagai permasalahan diatas alangkah baiknya kita mulai berfikir untuk berinvestasi membeli genset untuk mencegah terjadinya listrik padam.

### **2.6.2 Prinsip Kerja Genset**

Prinsip kerja genset adalah sebuah mesin pembakaran (mesin diesel atau mesin bensin) akan mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik tersebut diubah atau dikonversi oleh generator sehingga menghasilkan daya listrik, generator memiliki dua tipe yaitu generator AC atau yang biasa disebut alternator dan generator DC. Generator AC (alternator) adalah generator

yang menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC), sedangkan generator DC adalah generator yang menghasilkan arus listrik searah (DC).

Generator AC memiliki sistem kerja yang sama dengan generator DC, yaitu menghasilkan listrik dari induksi elektromagnetik, selain itu baik generator AC maupun generator DC sebenarnya pada dasarnya sama – sama menghasilkan arus listrik bolak – balik, namun generator AC dan generator DC memiliki perbedaan pada desain konstruksinya. Generator DC menggunakan sebuah cincin belah (split ring) atau yang biasa disebut komutator yang bertindak sebagai penyearah (rectifier), sehingga arus yang dihasilkan generator DC adalah arus searah (DC), sedangkan pada generator AC (alternator) menggunakan dua cincin seret (slip ring) untuk menghasilkan arus bolak – balik.



**Gambar 2.11** Prinsip kerja mesin genset

Sumber: <http://infohargagenset.blogspot.com/2015/01/pengertian-genset-fungsiserterta.html>

### 2.6.3 Cara Kerja Generator Set

Cara kerja generator set adalah dengan menyalakan diesel *engine* dari generator set. Penggerak mula (*Primemover*) merupakan peralatan yang mempunyai fungsimenghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Pada mesin diesel terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimampatkan di dalam silinder pada tekanan yang tinggi. Ketika bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi

melebihi titik nyala bahan bakar maka bahan bakar (dalam penelitian ini adalah bahan bakar cair, bensin atau premium) akan menyala secara otomatis.

Ada dua langkah kerja pendek dari disesel masing – masing mempunyai dua proses kerja. Yang pertama adalah

Proses pertama :

Langkah pertama adalah langkah pemasukan dan penghisapan. Disini udara dan bahan bakar masuk sedangkan poros engkol berputar ke bawah. Langkah kedua merupakan langkah kompresi, poros engkol terus berputar menyebabkan piston naik dan menekan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Proses 1 dan 2 termasuk proses pembakaran.

Proses kedua :

Langkah 3 merupakan langkah ekspansi, disini katup isap dan buang tertutup sedangkan proses engkol terus berputar dan menarik kembali piston ke bawah. Langkah keempat merupakan langkah pembuangan, disini katub buang terbuka menyebabkan gas sisa pembakaran terbang keluar. Gas keluar karena pada langkah keempat ini piston kembali bergerak naik dan membuka katub pembuangan yang berada di atas tabung silinder piston. Setelah proses tersebut, maka proses berikutnya akan mengulang kembali proses pertama yaitu proses pembakaran, dilanjutkan dengan proses pembuangan.

Setelah engine menyala, poros dari *engine* terhubung langsung dengan poros rotor pada generator set sehingga poros *engine* dan poros rotor berputar secara bersamaan. Ketika terjadi putaran di poros rotor, maka akan terjadi induksi medan magnet dan akan membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) seperti halnya hukum Faraday.

Generator Set ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

$N_s$  = Kecepatan putaran

- F = Frekuensi  
P = Jumlah kutub per lilitan fasa

#### 2.6.4 Parameter Unjuk Kerja Genset

Parameter unjuk kerja pada motor pembakaran dalam dapat ditunjukkan sebagai berikut :

##### 2.6.4.1 Daya Mesin

Daya adalah usaha yang dilakukan suatu benda setiap detik. Dengan kata lain daya merupakan gaya yang diberikan suatu benda untuk memindahkan benda lain terhadap waktu yang diperlukan. (Abdullah, mikrajuddin. 2004)

Pada sebuah mesin, daya merupakan tujuan utama, begitu juga halnya dengan mesin yang dihubungkan ke generator. Daya pada mesin yang dihubungkan dengan generator terutama generator AC berfasa tunggal akan berpengaruh terhadap tegangan dan arus listrik. Seperti halnya pendapat dari Maleev dalam penelitian Murni tahun 2010, yang menyatakan bahwa daya dari mesin yang disambungkan ke generator a-c fasa tunggal dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N = \frac{V \times I \times P_f}{746 C_g} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

N = Daya Mesin (HP)

V = Voltmeter (Volt)

I = Amperemeter (Amp)

P<sub>f</sub> = Faktor daya untuk fasa tunggal=1

C<sub>g</sub> = Efisiensi generator listrik di bawah 50 kva=0,87% - 0,89%

##### 2.6.4.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption (sfc)* merupakan jumlah massa bahan bakar (kg) per waktu yang dipakai selama proses

pembakaran untuk menghasilkan daya sebesar 1 Hp. Dengan kata lain konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) dapat diartikan sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar. konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*) dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$Sfc = \frac{G_f}{N} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana  $G_f$  adalah jumlah bahan bakar yang digunakan dengan satuan kg/jam dan  $N$  adalah daya efektif atau daya poros dengan satuannya Hp. (Basyirun dkk. 2008)

#### 2.4.11..Parameter Unjuk Kerja Mesin Diesel

Parameter Unjuk Kerja Motor Bakar adalah sebagai berikut: (Sumber: R. P. Sharma, 2012)

##### 1. Torsi

Torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Torsi juga dapat diperoleh dari perhitungan daya indikator dan putaran mesin yang terjadi.

$$T = \frac{P.60000}{2\pi.n} \text{ (Nm)}$$

Dimana :

T = Torsi terukur (Nm)

P = Daya (Kw)

n = Putaran mesin (rpm)

##### 2. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan kerja efektif

$$mf = \frac{b}{t} \times \frac{3600}{1000} \times \rho_{bb} \quad ; \quad Sfc = \frac{mf}{P} \text{ (kg/kw.h)}$$

Dimana :

- mf = Laju konsumsi bahan bakar (kg/h)
- P = Daya mesin (kW)
- $\rho_{bb}$  = Massa jenis bahan bakar (gr/cm<sup>3</sup>)
- b = Volume buret dalam pengujian (cm)
- t = Waktu untuk mengosongkan buret (s)
- Sfc = Bahan bakar yang di pakai (kg/kw.h)

### 3. Daya Motor

Daya motor adalah salah satu parameter dalam menentukan kinerja dari suatu motor tersebut. Untuk itu, ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan suatu daya motor itu sendiri.

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60000} \text{ (Kw)}$$

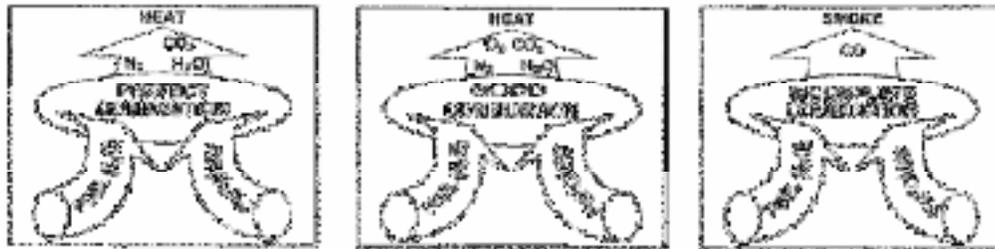
Dimana :

- P = Daya (Kw)
- T = Torsi terukur (Nm)
- n = Putaran mesin (rpm)

### 2.5. Teori Pembakaran

Pada motor bakar, proses pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diperoleh dari udara yang memerlukan campuran antara oksigen dan nitrogen, serta beberapa gas lain dengan persentase yang relatif kecil dan dapat diabaikan. Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi.

Dalam pembakaran, proses reaksi yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi seperti pada Gambar 2.15 sebagai berikut :



Gambar 2.15 Proses pembakaran mesin diesel  
Sumber: R. P. Sharma, 2012

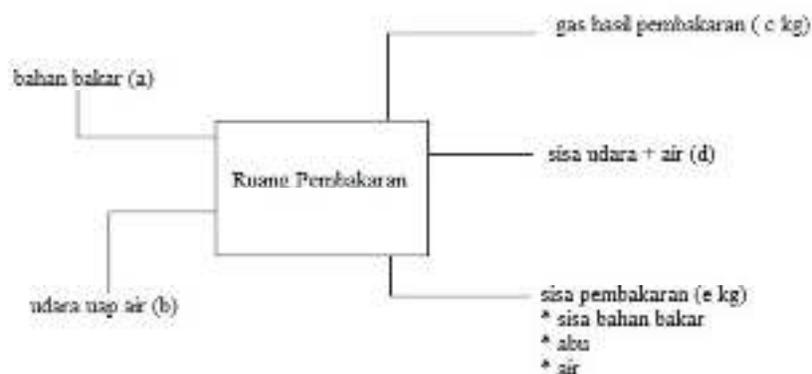
Karbon + Oksigen = Karbondioksida + panas

Hidrogen + Oksigen = Uap Air + panas

Sulfur + Oksigen = Sulfurdioksida + panas

Pembakaran di atas dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran “*lean*” (kurus), pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran “*rich*” (kaya), pembakaran ini menghasilkan api reduksi.

Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam *burner* (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah *burner*, melalui ruang sekitar ujung *burner* atau melalui tempat lain pada dinding dapur. Skema sistem penyaluran bahan bakar sampai menjadi gas buang dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Skema sistem penyaluran bahan bakar sampai menjadi gas buang

Sumber: R. P. Sharma, 2012

Berat *massa* bahan yang masuk ruang pembakaran = berat *massa* bahan yang keluar.

$$(a + b) = (c + d + e)$$

a = berat bahan kering + air (kelembaban).

b = berat udara + uap air yang terkandung dalam udara.

Air dalam d dan e = (air yang terkandung dalam bahan bakar) + (air dari kelembaban udara) + (air yang terbentuk dari reaksi pembakaran). Supaya dihasilkan pembakaran yang baik, maka diperlukan syarat – syarat :

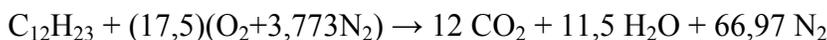
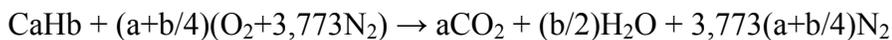
- a. Jumlah udara yang sesuai
- b. Temperatur yang sesuai dengan penyalaan bahan bakar
- c. Waktu pembakaran yang cukup
- d. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder

### 2.5.1. Reaksi Pembakaran

Gas buang adalah gas yang berasal dari suatu proses pembakaran yang suhunya relatif lebih tinggi daripada suhu atmosfer yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan tertentu. Untuk menganalisa produk pembakaran dapat dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan energi dengan basis per satu mol bahan bakar, sehingga reaksi pembakaran solar secara *stokiometri* dan secara actual adalah sebagai berikut:

Rumus kimia solar =  $C_{12}H_{23}$

Reaksi pembakaran *stokiometri* pada solar



### 2.5.2. Jenis Pembakaran

Produk pembakaran campuran udara – bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

1. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara-bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.

## 2. Pembakaran tak sempurna

Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehide, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

## 3. Pembakaran dengan udara berlebihan

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen (NO dan NO<sub>2</sub>).

Di samping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida hologenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidrokarbon ringan yang teremisi dari sistem bahan bakar.

## 2.6. Emisi Gas Buang Diesel

### 2.6.1 Bahan Pencemar (*Polutan*)

Bahan pencemar (*Polutan*) yang berasal dari gas buang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

#### 1. Sumber

*Polutan* dibedakan menjadi *Polutan* primer dan sekunder. *Polutan* primer seperti nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan karbon-karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. *Polutan* sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) dan *peroksiasetil nitrat* (PAN) adalah *Polutan* yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia atau oksidasi.

#### 2. Komposisi Kimia

*Polutan* dibedakan menjadi organik dan inorganik. *Polutan* organik mengandung karbon dan hydrogen, juga beberapa elemen seperti oksigen, nitrogen, sulfur atau fosfor. Contohnya hidrokarbon, alkohol, ester dan lain-lain. *Polutan* inorganik seperti karbon monoksida (CO), karbonat, nitrogen oksida, ozon dan lain-lain.

### 3. Bahan penyusun

*Polutan* dibedakan menjadi *Partikulat* atau gas. *Partikulat* dibagi menjadi padatan, dan cairan seperti debu, asap, abu, kabut dan spray. *Partikulat* dapat bertahan di atmosfer sedangkan *Polutan* berupa gas tidak bertahan di atmosfer dan bercampur dengan udara bebas.

#### a. *Partikulat*

*Polutan partikulat* yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan magnetik asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tak sempurna bahan bakar dengan udara sehingga terjadi tingkat ketebalan asap yang tinggi. Selain itu *Partikulat* juga mengandung timbal yang merupakan bahan *aditif* untuk meningkatkan kinerja pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu maka akan terjadi *dekomposisi* yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau angus. Hal ini disebabkan karena pemanasan udara yang bertemperatur tinggi tetapi penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada didalam silinder tidak dapat berlangsung sempurna terutama pada saat-saat dimana terlalu banyak bahan bakar disemprotkan yaitu pada waktu daya motor akan diperbesar misalnya untuk *akselerasi* maka terjadinya angus itu tidak dapat dihindarkan. Jika angus yang terjadi itu terlalu banyak maka gas buang yang keluar dari gas buang motor akan berwarna hitam.

#### b. UHC (*Unburned Hydrocarbon*)

Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan.

Pemanasan dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran

hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

c. *Carbon Monoksida (CO)*

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara bahan bakar lebih gemuk daripada campuran *stoikiometris* dan terjadi selama *idling* pada beban rendah atau pada *output* maksimum. Karbon monoksida tidak dapat dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk, bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk.

d. Nitrogen Oksida (NOX)

Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO<sub>2</sub>. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara ion – ion N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>.

### **2.6.2 Polutan Mesin Diesel**

Polusi udara oleh gas buang dan bunyi pembakaran motor diesel merupakan gangguan terhadap lingkungan. Komponen-komponen gas buang yang

membahayakan itu antara lain adalah asap hitam (jelaga), hidro karbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO) dan NO<sub>2</sub>. NO dan NO<sub>2</sub> biasa dinyatakan dengan NO<sub>x</sub>. Namun jika dibandingkan dengan motor bensin, motor diesel tidak banyak mengandung CO dan UHC. Disamping itu, kadar NO<sub>2</sub> sangat rendah jika dibandingkan dengan NO. Jadi boleh dikatakan bahwa komponen utama gas buang motor diesel yang membahayakan adalah NO dan asap hitam. Selain dari komponen tersebut di atas beberapa hal berikut yang merupakan bahaya atau gangguan meskipun bersifat sementara. Asap putih yang terdiri atas kabut bahan bakar atau minyak pelumas yang terbentuk pada saat start dingin, asap biru yang terjadi karena adanya bahan bakar yang tidak terbakar atau tidak terbakar sempurna terutama pada periode pemanasan mesin atau pada beban rendah, serta bau yang kurang sedap merupakan bahaya yang mengganggu lingkungan. Selanjutnya bahan bakar dengan kadar belerang yang tinggi sebaiknya tidak digunakan karena akan menyebabkan adanya SO<sub>2</sub> di dalam gas buang.

### **2.6.3 Soot (Jelaga)**

Jelaga (*soot*) adalah butiran arang yang halus dan lunak yang menyebabkan munculnya asap hitam dimana asap hitam terjadi karena proses pembakaran yang tidak sempurna. Asap ini membahayakan lingkungan karena mengkeruhkan udara sehingga mengganggu pandangan, tetapi karena adanya kemungkinan mengandung karsinogen. Motor diesel yang mengeluarkan asap hitam yang sekalipun mengandung partikel karbon yang tidak terbakar tetapi bukan karbon monoksida (CO). Jika jelaga yang terjadi terlalu banyak, gas buang yang keluar dari mesin akan berwarna hitam dan mengotori udara.

## **2.7 Rancangan Desain Fungsional**

Prototipe Unit Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Plastik menggunakan teknologi Pirolisis untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar cair di dalam sebuah reaktor Fixed Bed, dimana terdapat beberapa unit pendukung separati

Reaktor, Furnace, Kompresor, Cooler, Separator, Kondensor, serta Generator, dengan fungsi masing masing :

### ***Reaktor***

Reaktor berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi pirolisis yang mengkonversi limbah plastik fase padat menjadi fase gas, dimana proses pirolisis menggunakan metode *Thermal Cracking*. Jenis plastik yang digunakan dalam reaktor ini adalah *Polyetylane* (PP) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Dimana proses perengkahan terjadi pada suhu 250°C dengan waktu proses kurang lebih 25 menit. Adapun komposisi gas hasil proses di reaktor dengan jenis plastik PET adalah H<sub>2</sub> 2,1 %, CH<sub>4</sub> 1,8 %, CO<sub>2</sub> 37,8%, CO 52,6%.(Qonita, dkk. 2015).

### ***Furnace***

Furnace berfungsi sebagai tungku bakar atau media pemanas pada reaktor, bahan bakar yang di gunakan adalah tempurung kelapa, yang memiliki nilai kalor sebesar 19388,05 KJ/Kg (Sutrisno. 2016). Serta memiliki komposisi lignin 29,40 %, pentosan 27,70 %, selulosa 26,60 %, air 8,00 %, abu 6,60 %, dan nitrogen 0,10 % (Mentari. 2017). furnace yang digunakan berbentuk balok yang berfungsi untuk memperbesar kapasitas bahan bakar yang digunakan. Pada furnace ini pun terdapat lubang udara pada bagian bawah sebagai penyedia udara suplay.

### ***Kompresor***

Kompresor berfungsi untuk mengalirkan fase gas hasil pirolisis pada reaktor ke tahapan selanjutnya, serta digunakan untuk mengatur tekanan pada proses dan tahapan selanjutnya. Kompresor yang digunakan berjenis piston kerja tunggal, dikarenakan penggunaannya lebih dikenal oleh masyarakat, serta daya dan kapasitasnya sesuai kebutuhan.

### ***Cooler***

*Cooler* berfungsi untuk menurunkan temperatur fase gas hasil dari proses liquifaksi limbah plastik sesuai dengan kesetimbang gas pada separator. Tipe *Cooler* yang digunakan adalah *Double Pipe*, dengan aliran *Counter Current*

dikarenakan pada tipe aliran ini, temperatur fluida yang menerima panas (temperatur fluida dingin) saat keluar penukar kalor lebih tinggi

### ***Separator***

Separator berfungsi untuk memisahkan hasil liquifaksi limbah plastik menjadiduafasayaitucairandan gas. Proses pemisahandalam separator adalahberdasarkanberatjenis. Berat jenis yang lebih ringan akan berada di bagian atas separator dalam fasa gas dan akan di teruskan menuju kondenser, sedangkan berat jenis yang berat akan berada di bagian bawah separator dalam fasa cair.

### ***Kondenser***

Kondesner berfungsi untuk mengkondensasi uap keluaran dari separator, sehingga menjadi fase cair. Kondenser yang digunakan bertipe shell and cube dikarenakan perpindahan panas lebih tinggi yang disebabkan daerah perpindahan panas lebih besar, sehingga memiliki efisiensi yang lebih tinggi.

### ***Generator Set***

Berfungsi untuk mengkonversi minyak hasil liquifaksi limbah plastik, menjadi energi listrik. Jenis Generator yang digunakan yaitu merek Zehn ZG1500

SpesifikasiGenset yang digunakandapatdilihatpadaTabel 3.1.berikutini:

Tabel 3.4 SpesifikasiGenset

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
Rated Voltage	230 V
Rated Frequency	50 Hz
Rated Output	1000 Watt
Maximum Output	1200 Watt
Power Submultiple	1.0