

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Ningum (2011) telah melakukan penelitian terhadap limbah cangkang sawit sebagai bahan baku proses pirolisis. Sebelum proses pirolisis dilakukan, cangkang sawit dicuci terlebih dahulu untuk mengurangi kadar abu dan kotoran, selanjutnya dilakukan proses pengeringan dengan tujuan menghilangkan kadar air, dan terakhir proses pencacahan. Pada penelitiannya, proses pirolisis dilakukan dengan metode *Fast Pyrolysis* di mana variabelnya adalah suhu 450°C, 550°C, dan 650°C, dengan kondisi operasi pada kondenser bersuhu 17°C. Pada hasil penelitian ini didapat bahwa cangkang kelapa sawit bersuhu 450°C memiliki *yield bio-oil* sebesar 58,75 %, suhu 550°C sebesar 62 % dan pada suhu 650°C sebesar 59 %. Selain itu cangkang sawit memiliki jumlah *biopolymer* (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sebesar 94,2 %, dan jumlah kandungan karbon sebesar 53,8 %.

Ahmad dkk (2014) telah meneliti karakteristik *bio-oil* pada proses pirolisis cangkang sawit. Sebelum memulai proses pirolisis, cangkang sawit dihaluskan dan dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven bersuhu 105°C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar airnya. Setelah dikeringkan, cangkang sawit dicacah kembali dan disaring menggunakan saringan “*Shaker*” sehingga didapat ukuran partikel sebesar 212 - 300 µm, 300 - 600 µm, dan 600 µm - 1,18 mm. Biomassa sebanyak 5 g di masukkan ke dalam rektor pirolisis tipe *fixed bed* dengan kecepatan suhu 50°C per menit sampai dengan suhu 350°C, 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C dengan ditambahkan N<sub>2</sub> 50 ml/menit. Dari hasil percobaan didapat bahwa hasil optimum *yield bio-oil* berada pada suhu 450°C sebesar 38,40 %wt dengan ukuran biomassa sebesar 600 µm – 1,18 mm, hal ini disebabkan bahwa ukuran partikel biomassa, suhu serta jenis bahan baku berpengaruh pada hasil *bio-oil*.

Oh dkk (2016) sudah melakukan percobaan pirolisis menggunakan cangkang sawit untuk dianalisis karakteristik *bio-oil*nya. Pertama cangkang sawit dicacah dan disaring sehingga diperoleh ukuran sebesar 0,43 – 1 mm, namun sebelum itu

cangkang sawit terlebih dahulu dipanaskan dengan suhu 75°C selama 72 jam untuk menghilangkan kadar air. Proses pirolisis dilakukan dengan dua tahap, tahap pertama menggunakan reaktor bertipe *fluidized bed* dan tahap kedua menggunakan *auger pyrolizer* dan *fluidized bed* dalam rangkaian seri. Pada percobaannya, cangkang sawit sebanyak 0,4 kg disiapkan, di mana pada tahap pertama cangkang sawit tersebut di masukkan secara *continue* sebanyak 5,5 g/menit ke dalam reaktor *fluidized bed* bersuhu 300°C sampai dengan 500°C, kemudian gas yang didapat pada tahap pertama dialirkan ke tahap kedua yang bersuhu 500°C. Produk *Bio-oil* yang dihasilkan pada tahap pertama sebesar 53 wt% – 60 wt% dan tahap kedua sebesar 56 wt%. Sedangkan kandungan air pada *bio-oil* sebesar 60 wt% – 65 wt% untuk tahap pertama, dan 30 wt% – 35 wt% pada tahap kedua.

Bertero dkk (2014) mengatakan, dalam penelitian pirolisis yang telah dilakukannya memakai bahan baku cangkang sawit (PAL), ekstraksi minyak dari biji sawit putih (ResPAL) dan *endocarp* dari buah chanar (CHA). Bahan baku pirolisis dihancurkan terlebih dahulu menggunakan pisau pencacah, kemudian disaring menggunakan penyaring mekanik dengan ukuran sebesar 2,4 mm – 4,8 mm dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 6 jam. Selama proses pirolisis berlangsung, bahan baku di masukkan secara bertahap dengan massa sekitar 10 – 15 g pada suhu 15°C per menit sampai suhu akhir sebesar 550°C dengan penambahan gas N<sub>2</sub> sebanyak 20 ml/menit yang dijaga konstan selama 30 menit. Produk cair dari proses pirolisis disentrifugasi pada kecepatan 3200 rpm selama 8 menit untuk memisahkan fraksi cair, *bio-oil* dan fraksi tar. Hasil yang diperoleh setelah proses - proses tersebut didapat bahwa *yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada bahan baku CHA sebesar 47 wt%. Selain itu pada percobaan selanjutnya dilakukan penambahan zeolit alam sebagai variasi lain, hasilnya didapat bahwa pada *bio-oil* CHA memiliki *yield bio-oil* sebesar 31,6 wt%, PAL 13,5 wt%, dan ResPAL sebesar 20,9 wt%.

Habibati (2015) telah melakukan penelitian perihal kajian terhadap produk pirolisis limbah padat kelapa sawit. Pertama - tama cangkang sawit dipirolisis menggunakan reaktor yang bersumber panas dari listrik (*heater*) dan selanjutnya

dengan reaktor drum bersumber panas dari tungku api. Pada percobaannya dilakukan tiga kali pengulangan proses pirolisis pada setiap reaktor. Pada proses pirolisis dengan proses pemanasannya bersumber dari listrik dengan suhu pirolisis 300°C didapat nilai rata-rata massa *bio-oil* sebesar 49,17 wt%, sedangkan pada suhu 400°C didapat rata-rata massa *bio-oil* sebesar 42,21 wt%, dan pada suhu 500°C sebesar 36,32 wt%. Sedangkan pada reaktor drum didapat nilai rata-rata *bio-oil* sebesar 38,81 wt%. Selanjutnya kadar air pada reaktor listrik bersuhu 500°C didapat rata-rata *bio-oil* sebesar 3,67 wt% dan pada reaktor drum bersuhu 378°C didapat rata-rata sebesar 5,33 wt%.

López dkk (2010) telah melakukan penelitian terhadap proses pirolisis limbah plastik. Proses pirolisis berlangsung pada suhu 500°C dengan ukuran partikel bahan baku sebesar 8 mm sebanyak 100 g. Selanjutnya bahan baku pirolisis dipanaskan dengan laju panas sebesar 20°C per menit dan dicampur gas N<sub>2</sub> yang dilewatkan pada bahan baku sebesar 1 dm<sup>3</sup> per menit. Setelah proses pirolisis selesai, kemudian menghitung berapa banyak produk yang diperoleh, seperti kelembaban dan abu ditentukan dengan analisa Termogavimeter, dan nilai kalor (GCV) ditentukan dengan bom kalorimeter. Pada percobaannya didapat jumlah kandungan karbon sebesar 82,8 wt%, Hidrogen 11,9 wt%, Nitrogen 0,2 wt%, Sulfur 0,4 wt%, Clorin 1,6 wt%, Kadar Air 0,1 wt%, Abu 2,4 wt%, dan Nilai Kalor sebesar 41,6 MJ kg<sup>-1</sup>.

Sonawane dkk (2015) dalam penelitiannya melakukan proses pirolisis menggunakan 10 % katalis zeolit alam (NZ) dan tanpa katalis, dan memakai bahan baku limbah plastik *polypropylene*. Sebelum percobaan dilakukan, bahan baku dicuci terlebih dahulu dan dicacah, setelah itu bahan baku ditimbang sampai dengan massa 200 g. Selanjutnya bahan baku tersebut dipanaskan ke dalam oven bersuhu 200°C selama 1 jam untuk membuang kotoran yang ada. Setelah itu bahan baku sebanyak 200 g di masukkan ke dalam reaktor, gas N<sub>2</sub> juga ditambahkan dengan tekanan 5 kgf/cm<sup>2</sup> untuk membuat kondisi pirolitik, dengan proses pirolisis bersuhu 450°C. Dari percobaan yang sudah dilakukannya, diperoleh bahwa proses pirolisis menggunakan katalis NZ 10 % menghasilkan *yield oil* sebesar 86,41 %, jumlah lilin sebesar 11,34 % dalam kurun waktu 65

menit. Sedangkan proses tanpa katalis diperoleh *yield oil* 80,82 %, jumlah lilin sebesar 18,64 % dan dalam waktu 90 menit.

Hanif dkk (2016) telah melakukan penelitian proses pirolisis untuk mengamati pengaruh dolomit terkalsinasi terhadap persentase dan kualitas produk cair yang dihasilkan. Bahan baku yang dipakai adalah jenis plastik polipropilena dan polistirena. Bahan baku dibersihkan menggunakan air berisi deterjen, kemudian dikeringkan selama 8 jam, kemudian dicacah dengan ukuran 2 cm x 2 cm, selanjutnya dolomit dikalsinasi bersuhu 900°C selama 4 jam dengan udara. Bahan baku yang digunakan sebanyak 250 gam dan dilakukan proses pirolisis dengan katalis 50 wt%. dan tanpa katalis. Selanjutnya bahan baku dipanaskan di dalam reaktor dengan laju 10°C per menit. Temperatur akhir dijaga tetap pada 200°C, 400°C, 600°C. Pada bahan baku Polipropilena tanpa katalis bersuhu 200°C didapat *yield* produk cair sebesar 29,79 wt%, 400°C sebesar 32,40 wt%, dan 600°C sebesar 35,84 wt%. dan dengan katalis didapat 38,18 wt% pada suhu 200°C, 37,44 wt% pada suhu 400°C, dan 30,60 wt% pada suhu 600°C. Sedangkan pada bahan baku polistirena didapat *yield* produk cair bersuhu 200°C sebesar 22,68 wt% tanpa katalis, dan 16,80 wt% berkatalis, pada suhu 400°C sebesar 22,58 wt% tanpa katalis, dan 30,96 wt% berkatalis, terakhir pada suhu 600°C didapat 20,80 wt% tanpa katalis, dan 32,80 wt% dengan katalis.

Wardhana dkk (2016) telah melakukan penelitian proses pirolisis berbahan baku plastik polietilen. Bahan baku dicacah terlebih dahulu kemudian di masukkan ke dalam reaktor pirolisis bersuhu 450°C. Pada proses tersebut menghasilkan 61 % bahan bakar cair, 27 % bahan bakar gas, dan 12 % bahan bakar padat. Selain itu minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki karakteristik sebagai berikut. *Specific Gravity at 40°F* sebesar 0,8052, *Viscosity Kinematic at 40°C* sebesar 2,438 mm<sup>2</sup>/s, *Flash Point* pada suhu 10°C sudah menyala, *Pour Point* sebesar 33°C, *Cloud Point* tidak dapat diamati karena sample berwarna gelap, *Water Content* sebesar 0,9 % volume, dan *Ash Content* sebesar 0,004 wt%.

Wardana dkk (2016) melakukan penelitian terhadap limbah kantong plastik dicampur dengan cangkang sawit dengan penambahan katalis. Kantong plastik dipotong dengan panjang 3 cm - 7 cm pada prosentase 0 %, 10 %, 20 %, dan 30 %

katalis. Sebanyak 400 g bahan baku campuran tersebut di masukkan ke dalam reaktor pirolisis tipe *fixed bed*. Gas nitrogen di masukkan ke dalam reaktor dengan laju 2 liter/menit dengan suhu pirolisis sebesar 400°C, 450°C, dan 500°C dengan laju pemanasan sebesar 2,5°C per menit di mana sumber panas yang dipakai berasal dari pemanas listrik dengan daya 5000 Watt. Dari hasil pengujian didapat bahwa pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa cairan dan arang tertinggi pada suhu 400°C, sedangkan pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa gas tertinggi pada suhu 500°C. Selain itu pengaruh prosentase plastik terhadap massa cairan tertinggi didapat pada prosentase katalis 0 %, prosentase plastik terhadap massa arang tertinggi didapat pada prosentase katalis 20 %, dan prosentase plastik terhadap massa gas tertinggi didapat pada prosentase katalis 10 %.

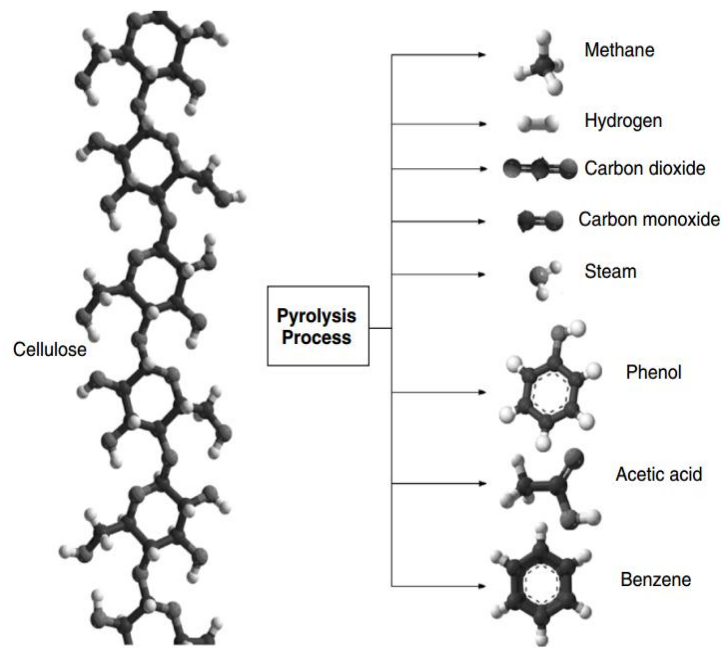
Dari jurnal – jurnal pada tinjauan pustaka, dapat disimpulkan bahwa rata – rata *bio-oil* yang dihasilkan pada proses pirolisis sebesar 40 wt% - 70 wt%, hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu, persentase campuran bahan baku, jenis bahan baku dan ukuran partikel bahan bakunya sendiri. Pada tinjauan pustaka juga disebutkan bahwa, pirolisis berbahan baku plastik memiliki nilai kalor sekitar 40 MJ/kg, sedangkan pada bahan baku cangkang sawit tidak disebutkan jumlah nilai kalornya. Selain itu, derajat keasaman dan senyawa penyusun *bio-oil* tidak disebutkan juga berapa hasilnya.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pirolisis**

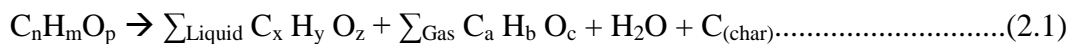
Basu (2010) mengatakan, pirolisis adalah sebuah proses dekomposisi termokimia dari bahan organik (bahan baku pirolisis) pada kondisi suhu tinggi dengan atau tanpa adanya oksigen untuk dijadikan produk lain seperti gas, cair dan padat. Dalam proses pirolisis, molekul hidrokarbon yang besar akan dipecah menjadi molekul yang berukuran lebih kecil pada kondisi suhu 300°C - 650°C dengan tekanan sebesar 0,1 – 0,5 MPa.

Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi bagaimana proses pirolisis mampu mendekomposisi bahan baku biomassa menjadi produk yang sederhana secara termal.



Gambar 2.1. Penyederhanaan Selulosa Menjadi Berbagai Macam Produk (Basu, 2010)

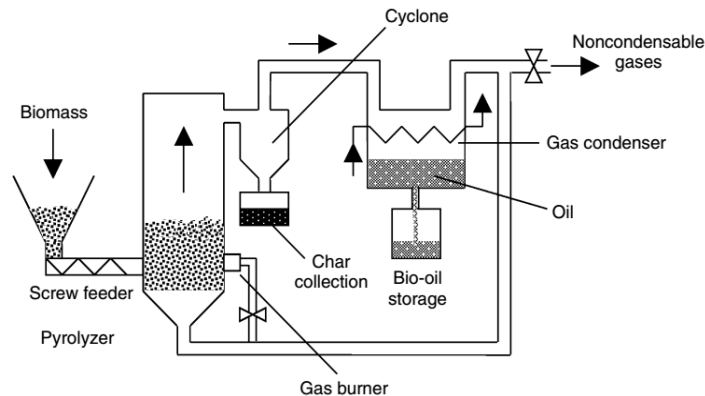
Selama proses pirolisis berlangsung, bahan baku biomassa dipanaskan pada suhu tertentu dengan atau tanpa adanya udara atau oksigen di dalam reaktor pirolisis mencapai tingkatan suhu yang telah ditentukan sebelumnya atau dikenal sebagai suhu pirolisis dan dalam kurun waktu yang sudah ditentukan juga. Selama proses pirolisis berlangsung, produk awal yang dihasilkan adalah berupa gas yang dapat dan tidak dapat dikondensasi dan char padat, (Basu, 2010). Reaksi kimia pirolisis dapat dilihat pada Persamaan 2.1.



### 1. Produk Pirolisis

Persamaan 2.1 menunjukkan jika produk dari proses pirolisis dapat berupa padatan (char), cair (tar, senyawa hidrokarbon yang tinggi, dan air), dan gas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, dll). Basu (2010) mengatakan, jumlah produk pirolisis tergantung pada beberapa faktor seperti laju pemanasan dan suhu akhir yang dicapai pada saat proses pirolisis berlangsung. Gambar 2.2 memperlihatkan alur proses pirolisis, dimana bahan baku biomassa pertama kali di masukkan kedalam reaktor, kemudian terjadi proses pemanasan sampai menghasilkan

produk pirolisis berupa gas, *bio-oil*, dan arang. *Bio-oil* diperoleh dari proses kondensasi, sedangkan gas dan arang akan terpisah dengan sendirinya.



Gambar 2.2. Alur Proses Pirolisis (Anonim, 2016)

a. Padatan (Char)

Sebagai salah satu produk pirolisis, char memiliki kandungan karbon sekitar 85 %, dan juga bisa mengandung beberapa oksigen dan hidrogen. Berbeda dengan bahan bakar fosil, biomassa mengandung sedikit abu organik. Selain itu memiliki nilai pemanasan yang lebih rendah sekitar 32 MJ/kg.

b. Cair

Produk cair atau dikenal juga sebagai tar atau *bio-oil* atau *biocrude* adalah campuran hidrokarbon kompleks dengan salah satu komposisi penyusunnya sebagian besar adalah oksigen dan air. Pada produk ini terkandung 20 % air yang terdiri dari senyawa fenolik homolog. Pada produk cair ini terdiri dari lima senyawa besar yaitu: *Hydroxyaldehydes*, *Hydroxyketones*, *Sugars and Dehydrosugars*, *Carboxylic Acids* dan *Phenolic Compounds*. Selain itu memiliki nilai pemanasan sekitar 13 – 18 MJ/kg.

c. Gas

Produk gas terdiri dari dua macam jenis, yaitu yang dapat dikondensasi (uap) dan yang tidak dapat dikondensasi (gas primer). Uap yang terbuat dari molekul yang lebih berat akan mengembun dengan adanya proses pendinginan (kondensasi), sedangkan gas yang tidak dapat dikondensasikan mengandung gas dengan berat molekul rendah seperti karbon dioksida

(CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), serta etilen dan ini tidak dapat mengembun walau adanya proses pendinginan. Nilai pemanasan pada produk gas primer sekitar 11 MJ/N.m<sup>3</sup>, namun pada gas yang dapat menguap jauh lebih tinggi nilai pemanasannya sekitar 20 MJ/N.m<sup>3</sup>. Perbandingan nilai kalor dari produk pirolisis dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Nilai Pemanasan (Basu, 2010)

<i>Fuel</i>	<i>Petcoke</i>	<i>Coal</i>	<i>Sawdust</i>	<i>Bio-oil</i>	<i>Pyrolysis Gas</i>
<i>Units</i>	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg dry	MJ/kg	MJ/Nm <sup>3</sup>
<i>Heating Value</i>	29,8	26,4	0,5	12 - 18	11 - 20

## 2. Jenis-Jenis Pirolisis

Berdasarkan laju pemanasannya, proses pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu proses pirolisis cepat (*Fast Pyrolysis*) dan proses pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*). Dikategorikan sebagai proses cepat atau lambat itu tergantung dari waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan bakar ke suhu pirolisis apakah cepat atau lambat dari waktu reaksi pirolisis. Sebagai perbandingan, dikatakan proses cepat atau lambat bila pada proses cepat  $T.heating \ll tr$ , sedangkan pada proses lambat  $T.heating \gg tr$ , di mana " $T.heating$ " adalah suhu pirolisis, dan " $tr$ " adalah waktu pirolisis.

### a. Pirolisis Cepat

Tujuan utama proses ini adalah memaksimalkan produk cair atau *bio-oil*. Biomassa dipanaskan dengan waktu yang cepat sehingga mencapai suhu puncak (pirolisis) sebelum bahan baku terurai. Tingkat pemanasan bisa mencapai 1000°C dengan laju pemanasan sebesar 10°C per detik dengan ketentuan bila produk utamanya adalah *bio-oil* maka suhu puncaknya harus di bawah 650°C. Namun jika produk berupa gas yang diinginkan maka suhu puncaknya harus 1000°C.



#### b. Pirolisis Lambat

Karbonisasi adalah tujuan utama dari proses ini, di mana produksi arang (char) adalah tujuannya. Selain itu pada proses ini juga memungkinkan waktu yang cukup untuk proses pengkondensasian gas menjadi *bio-oil* dan menghasilkan gas yang tidak dapat dikondensasi. Pada saat pirolisis lambat berlangsung biomassa dipanaskan perlahan dengan tidak adanya oksigen ke suhu yang relatif rendah sekitar 400°C dengan periode waktu yang lama.

#### 3. Penggunaan Media Pada Proses Pirolisis.

Pada dasarnya pirolisis dapat berjalan dengan tanpa adanya media pirolisis, namun pada beberapa kondisi keberadaan media pirolisis sangat diperlukan pada saat proses pirolisis berlangsung. Media pirolisis adalah suatu gas tertentu seperti gas Nitrogen (N<sub>2</sub>), atau Hidrogen (H<sub>2</sub>) yang digunakan untuk menghilangkan keberadaan oksigen di dalam reaktor (*pyrolizer*). Anonim (2016) mengatakan bahwa dalam kasus *hydropyrolysis*, dekomposisi biomassa terjadi pada tekanan tinggi dengan adanya gas H<sub>2</sub> di dalam reaktor. Keuntungan proses *hydropyrolysis* adalah dapat meningkatkan produk pirolisis yang mudah menguap sehingga ketika proses kondensasi, *bio-oil* yang didapat jumlahnya akan banyak, selain itu dengan penggunaan media pirolisis berupa gas H<sub>2</sub> juga akan menghasilkan *bio-oil* dengan kadar oksigen yang sedikit.

#### 4. Jenis-Jenis Reaktor Pirolisis

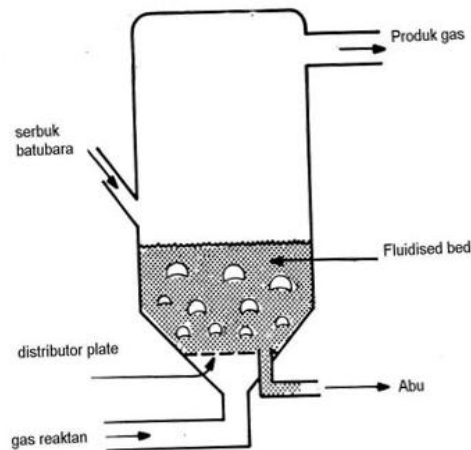
Ada beberapa jenis reaktor yang ada saat ini, jenis – jenis tersebut memiliki berbagai macam fungsinya dan memiliki keuntungannya masing - masing, tergantung produk seperti apa yang kita inginkan seperti jenis produk cair atau gas yang ingin kita dapatkan. Berikut beberapa jenis reaktor pirolisis yang ada saat ini:

- *Fixed or moving bed.*
- *Bubbling fluidized bed.*
- *Circulating fluidized bed.*
- *Ultra-Rapid Pyrolizer.*
- *Ablative Pyrolizer.*
- *Rotating cone.*

- *Vacuum Pyrolizer.*

a. *Fixed or Moving Bed*

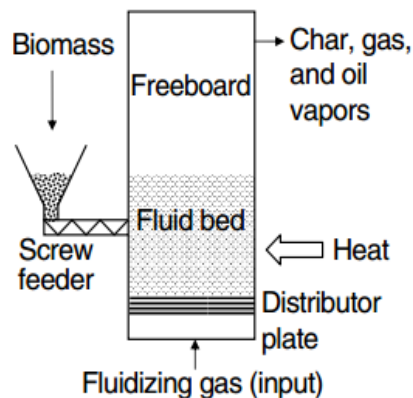
Jenis pirolisis ini adalah jenis yang sudah lama dipakai di mana pada jenis ini panas yang dihasilkan bersumber dari luar dan bahan baku biomassa berada di sebuah ruangan (tabung) hampa udara. Reaktor *fixed bed* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Fixed or Moving Bed* (Pamoga, 2014)

b. *Bubbling Fluidized Bed*

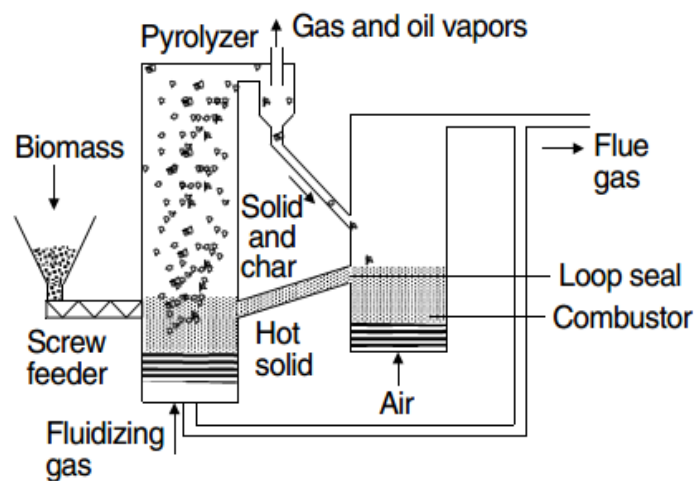
Pirolisis jenis ini menggunakan media pasir (biasanya pasir silika) yang bersuhu tinggi, yang mana bahan baku biomassa di masukkan ke dalam pasir tersebut sehingga terjadi proses pemanasan bahan baku pirolisis. Keuntungan dari jenis ini adalah suhu yang dapat dikontrol dengan mudah. Reaktor pirolisis jenis *Bubbling Fluidized Bed* ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2010)

c. *Circulating Fluidized Bed*

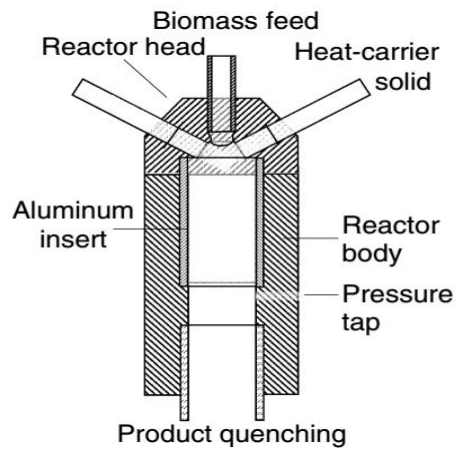
Bahan baku pirolisis pada jenis ini akan mendapatkan tekanan dari bawah tabung reaktor berupa gas (biasanya gas N<sub>2</sub>), kemudian produk dari bahan baku tersebut naik ke atas reaktor dan akan mengalami proses pemanasan di bagian *pyrolizer* lainnya. Proses ini akan berlangsung terus menerus sampai suhu dan waktu yang diinginkan. Keuntungan dari tipe ini adalah komponen - komponen yang tidak diinginkan dari bahan baku pirolisis dapat dengan mudah dipisahkan. Gambar 2.5 memperlihatkan bagaimana skema reaktor jenis *Circulating Fluidized Bed* bekerja.



Gambar 2.5. *Circulating Fluidized Bed* (Basu, 2010)

d. *Ultra-Rapid Pyrolyzer*

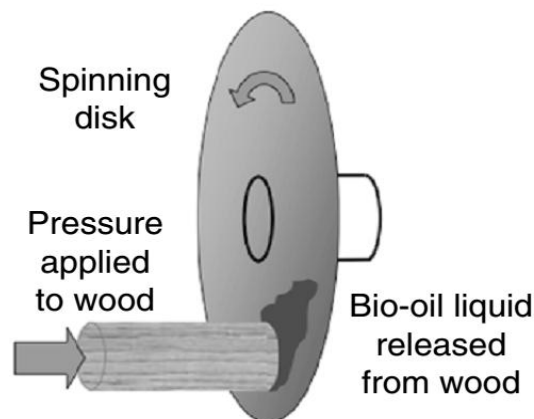
Pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal bahan baku yang singkat adalah syarat utama untuk menghasilkan produk cair yang tinggi pada proses ini. Gas Nitrogen sebagai gas inert dipanaskan pada suhu 100°C dan disuntikkan ke dalam reaktor dengan kecepatan yang sangat tinggi yang akan bertumbukkan dengan 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. Reaktor pirolisis jenis *Ultra-Rapid Pyrolyzer* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Ultra-Rapid Pyrolyzer* (Basu, 2010)

e. *Ablative Pyrolyzer*

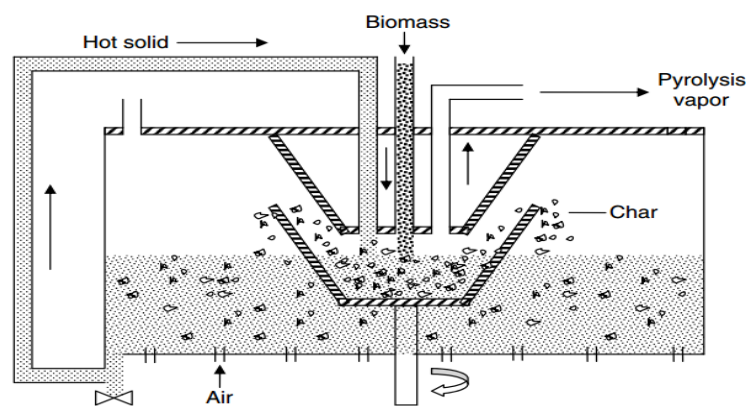
Proses ini melibatkan bahan baku pirolisis dan dinding reaktor yang berputar dan saling bergesekan dengan cara bahan baku ditekan ke dinding reaktor tersebut sehingga akan terjadi proses pemanasan akibat gesekan tersebut. Keuntungan dari cara ini adalah memungkinkan perpindahan panas tanpa adanya hambatan dari dinding ke bahan baku pirolisis sehingga produk cair yang dihasilkan akan meleleh keluar dari bahan baku. Gambar 2.7 memperlihatkan skema pirolisis pada reaktor jenis *Ablative Pyrolyzer* bekerja.



Gambar 2.7. *Ablative Pyrolyzer* (Basu, 2010)

f. *Rotating Cone*

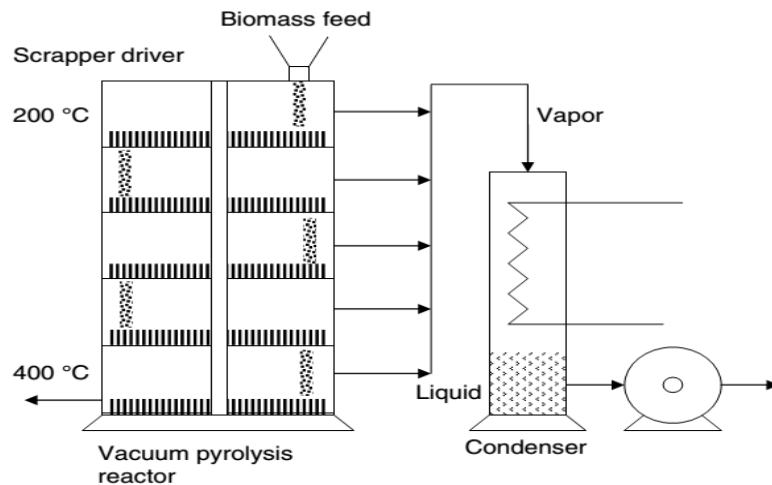
Cara kerja proses pirolisis ini adalah, bahan baku pirolisis diumpankan dari atas ke bawah menuju kerucut yang sedang berputar di dalam reaktor. Gaya sentrifugal mendorong partikel ke atas dinding yang panas, sedangkan produk berupa gas akan menguap ke atas reaktor. Keuntungan proses ini adalah proses pemanasan dapat cepat berlangsung. Reaktor *Rotating Cone* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Rotating Cone* (Basu, 2010)

g. *Vacuum Pyrolizer*

*Vacuum Pyrolizer* terdiri dari sejumlah plat melingkar yang dipanaskan, di mana pada plat bagian atas bersuhu sekitar 200°C, sedangkan plat bagian bawah bersuhu sekitar 400°C. Biomassa diumpankan 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. Reaktor pirolisis jenis *Vacuum Pyrolizer* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Vacuum Pyrolizer* (Basu, 2010)

### 2.2.2 Cangkang Sawit

Kelapa sawit adalah sejenis tumbuhan penting penghasil minyak, baik minyak yang digunakan untuk memasak, industri maupun bahan bakar minyak (*biodiesel*), Anonim (2017). Kelapa sawit dapat menghasilkan buah sawit, di mana buah sawit inilah yang sering dimanfaatkan oleh manusia karena dari buah tersebut akan dihasilkan minyak. Buah sawit sendiri tersusun dari tiga bagian seperti:

- a. Eksoskarp, bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin.
- b. Mesoskarp, serabut buah.
- c. Endoskarp, cangkang pelindung inti.

#### 1. Komposisi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang sawit atau disebut juga *palm kernel shell* (PKS) adalah bagian terkeras yang terdapat pada buah kelapa sawit yang berfungsi melindungi isi (*kernel*) dari buah sawit tersebut. Dalam jurnal yang disusun oleh Wardana dkk (2016) menyebutkan bahwa, cangkang sawit memiliki nilai *ultimate* dan *proximate* seperti pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 *Ultimate Analysis Cangkang Sawit* (Diputra, 2010)

Karbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur
50,73 %	5,97 %	40,83 %	0,36 %	0,06%

Tabel 2.3 *Proximate Analysis Cangkang Sawit* (Diputra, 2010)

<i>Ash</i>	<i>Volatile</i>	<i>Fixed Carbon</i>
2,05 wt%	75,21 wt%	22,74 wt%

Khaldun dkk (2010) mengatakan jika cangkang kelapa sawit mengandung hemiselulosa 33,52 %, selulosa 38,52 %, lignin 20,36 %, zat ekstraktif 3,68 % dan abu sebesar 3,92 %.

## 2. Pemanfaatan Cangkang Sawit Sebagai Energi Terbarukan

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan cangkang sawit sebagai energi terbarukan, salahsatunya adalah proses pirolisis. Pada proses ini, cangkang sawit akan dipanaskan di dalam reaktor tertutup dalam kurun waktu tertentu, di mana produk dari proses ini berupa *bio-oil*. Cangkang sawit sendiri mampu menghasilkan suhu maksimal sebesar 694°C, (Diputra, 2010).

### 2.2.3 Plastik

Maulana (2013) mengatakan bahwa, sampah/limbah plastik adalah material yang sulit diurai ketika tertimbun di tanah. Banyaknya limbah plastik disebabkan oleh aktivitas manusia yang sering memakai plastik sebagai penunjang kebutuhan hidupnya. Surono (2013) dalam jurnalnya mengatakan, plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya. Dalam pembuatan produk plastik dibuat memiliki sifat yang berbeda - beda tergantung kebutuhannya, seperti sifat - sifat bisa menerima tekanan, panas, keras juga lentur, dan bisa digabung dengan partikel lain semisal karet, metal, dan keramik, (Libra, 2013).

#### 1. Jenis – Jenis Plastik

Surono (2013) mengatakan jika plastik dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, termoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya seperti pada Gambar 2.10, sedangkan Tabel 2.4 menunjukkan kode plastik, jenis plastik dan kegunaannya.



Gambar 2.10. Nomer Kode Plastik (Untoro, 2013)

Tabel 2.4 Jenis Plastik, Kode dan Penggunaannya (Untoro, 2013)

Nomer Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET ( <i>Polyethylene Terephthale</i> )	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
2	HDPE ( <i>High-Density Polyethylene</i> )	Botol obat, botol susu cair, jerigen peluma, dan botol kosmetik.
3	PVC ( <i>Polyvyhyl Chloride</i> )	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampoo, dan botol sambal.
4	LDPE ( <i>Low-density Polyethylene</i> )	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP ( <i>Polypropylene atau</i>	<i>Cup</i> plastik, tutup botol dari plastik, mainan



Nomer Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
	<i>Polypropene</i> )	anak dan margarin.
6	PS ( <i>Polystyrene</i> )	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari <i>styrofoam</i> , dan tempat makanan plastik transparan.
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain nomer 1 hingga 6	Botol susu bayi, plastik kemasan, botol air galon, suku cadang mobil, alat – alat rumah tangga, komputer, alat – alat elektronik, sikat gigi dan mainan lego.

## 2. Sifat *Thermal* Bahan Plastik

Karena limbah berbahan baku minyak bumi, maka pengetahuan mengenai sifat *thermal* dari berbagai jenis limbah plastic perlu dilakukan untuk proses daur ulang. Sifat – sifat *thermal* yang penting untuk dipelajari adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperature transisi ( $T_g$ ) dan temperature dekomposisi. Untoro (2013) mengatakan bahwa, temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggangan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Pada saat pemanasan bersuhu diatas titik lebur, plastik akan mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan meningkatnya kelenturan plastik tersebut. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan meleleh menjadi fasa cair, sedangkan temperatur dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan, Perbedaan temperature tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik (Untoro, 2013)

Jenis Bahan	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	Temperatur Kerja Maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	110	82
LDPE	330	115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS	-	110	85
PS	-	90	70
PMMA	-	100	85
PC	-	150	246
PVC	-	90	71

### 3. Daur Ulang Sampah Plastik

Daur ulang sampah plastik adalah proses pengolahan kembali limbah plastik yang dianggap sudah tidak memiliki nilai ekonomis dan sudah tidak memiliki nilai fungsi lagi baik melalui proses fisik maupun kimiawi atau keduanya, sehingga diperoleh produk yang dapat dimanfaatkan lagi. Daur ulang sampah plastik (*recycle*) dapat dibedakan menjadi empat cara yaitu daur ulang primer, sekunder, tersier dan quarter, (Untoro, 2013).

#### a. Daur Ulang Primer

Daur Ulang Primer adalah daur 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 sekunder adalah daur ulang yang menghasilkan produk yang sejenis dengan produk aslinya tetapi dengan kualitas di bawahnya.

c. Daur Ulang Tersier

Daur ulang tersier adalah daur ulang sampah plastik menjadi bahan kimia atau menjadi bahan bakar.

d. Daur Ulang Quarter

Daur ulang quarter adalah proses untuk mendapatkan energi yang terkandung di dalam sampah plastik. Tabel 2.6 menunjukkan perbandingan nilai kalor plastik dengan jenis yang berbeda.

Tabel 2.6. Nilai Kalor Plastik dan Lainnya (Untoro, 2013)

Material	Nilai Kalor (MJ/kg)
<i>Polyethylene</i>	46,3
<i>Polypropylene</i>	46,4
<i>Polyvyhyl Chloride</i>	18,0
<i>Polystyrene</i>	41,4
<i>Coal</i>	24,3
<i>Petrol</i>	44,0
<i>Diesel</i>	43,0
<i>Heavy Fuel oil</i>	41,1
<i>Light Fuel Oil</i>	41,9
LPG	46,1
<i>Kerosene</i>	43,4

4. Konversi Limbah Plastik Menjadi *Bio-oil*

Mengkonversi limbah plastik menjadi *bio-oil* termasuk ke dalam daur ulang tersier karena produk yang diinginkan adalah berupa bahan bakar. Menjadikan limbah plastic menjadi bahan bakar dapat dilakukan dengan proses *cracking* (perekahan). *Cracking* adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah, (Untoro, 2013). Hasil dari proses cracking plastik ini dapat diguna sebagai bahan kimia atau bahan bakar. Ada tiga macam proses *cracking* yaitu *hydro cracking*, *thermal cracking* dan *catalytic cracking*.

a. *Hydro Cracking*

*Hydro cracking* adalah proses *cracking* dengan mereaksikan plastik dengan hidrogen di dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan pengaduk pada temperatur antara 423 - 673 K dan tekanan hidrogen 3 - 10 MPa.

b. *Thermal Cracking*

*Thermal cracking* termasuk proses pirolisis, yaitu dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 350°C sampai 900°C. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti parafin, isoparafin, olefin, naphthene dan aromatik, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi.

c. *Catalytic Cracking*

*Cracking* cara ini menggunakan katalis untuk melakukan reaksi peretakan. Dengan adanya katalis, dapat mengurangi temperatur dan waktu reaksi. Tabel 2.7 memperlihatkan perbandingan sifat minyak dari sampah plastik dan solar.

Tabel 2.7. Perbandingan Sifat Minyak Dari Sampah Plastik dan Solar (Untoro, 2013)

Sifat	Minyak Dari Sampah Plastik	Solar
Densitas Pada 30°C (g/cc)	0,793	0,83 s/d 0,88
Nilai Kalor (KJ/kg)	41,858	46,500
Viskositas Kinematis, cst	2,145	5
<i>Cetane Number</i>	51	55
<i>Flash Point</i> (°C)	40	50
<i>Fire Piont</i> (°C)	45	50
Kandungan Sulfur (%)	< 0,002	< 0,035

d. Komposisi Plastik

Dalam jurnal yang disusun oleh Rachmawati dkk (2015) menyebutkan bahwa *proximate analysis* setiap plastik berbeda nilainya tergantung dari jenis plastik tersebut, seperti pada Tabel 2.8 menunjukkan nilai *proximate*

dari berbagai jenis plastik, sedangkan Tabel 2.9 memperlihatkan nilai *ultimate* dari plastik LDPE.

Tabel 2.8 Nilai *Proximate Analysis* Berbagai Jenis Plastik (Rachmawati dkk, 2015)

Jenis Plastik	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
HDPE	Kadar Air	%	0,52
	Volatile Solid	%	82,22
	Kadar Abu	%	17,78
	Nilai Kalor	Kal/g	9,192
PET	Kadar Air	%	0,35
	Volatile Solid	%	99,93
	Kadar Abu	%	0,07
	Nilai Kalor	Kal/g	5,399
PS	Kadar Air	%	0,47
	Volatile Solid	%	96,99
	Kadar Abu	%	3,01
	Nilai Kalor	Kal/g	10,847
LDPE	Kelembaban	%	0,02
	Kadar Abu	%	0,15
	Volatile Solid	%	99,83
	Fixed Carbon	%	0

Tabel 2.9. Nilai *Ultimate Analysis* Plastik LDPE (López dkk, 2010)

Karbon	85,83 %
Hidrogen	14,38 %
Nitrogen	0,16 %
Sulfur	0,07 %
Oksigen	0 %
Nilai Kalor	46362 KJ/kg

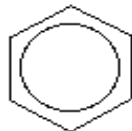
## 2.2.4 Golongan Senyawa

### 1. Golongan Hidrokarbon

Dalam istilah kimia, hidrokarbon adalah senyawa yang terdiri dari unsur atom karbon (C) dan atom hidrogen (H). Pada golongan hidrokarbon, seluruh rantai karbon dan atom hidrogen saling berikatan. Berikut yang termasuk golongan – golongan hidro karbon:

#### a. Aromatik

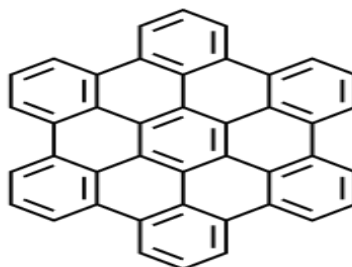
Senyawa aromatik adalah senyawa yang mengandung cincin benzena. Semua senyawa aromatik berdasarkan benzena  $C_6H_6$ . Gambar 2.11 adalah salahsatu contoh senyawa aromatik.



Gambar 2.11. Benzena (Dina, 2013)

#### b. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)*

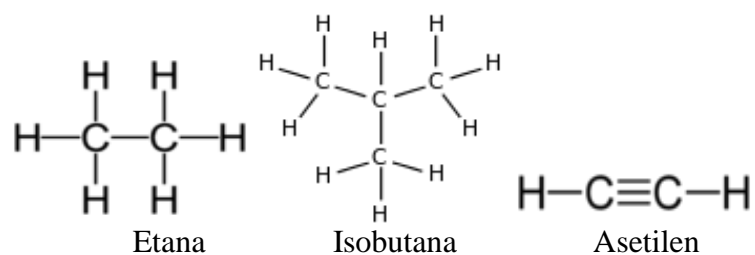
*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)*, juga dikenal sebagai Poliaromatik Hidrokarbon adalah polutan atmosfer kuat yang terdiri dari cincin aromatik menyatu dan tidak mengandung heteroatom atau membawa substituen. PAH merupakan kelompok senyawa yang memiliki berat molekul besar, berbentuk datar, dan memiliki struktur dengan banyakkincin aromatik. Senyawa ini banyak terdapat di alam sebagai polutan hasil pembakaran bahan-bahan organik, baik dalam bentuk partikel padat ataupun gas, (Putri, 2012). Gambar 2.12 adalah bentuk struktur dari Poliaromatik Hidrokarbon.



Gambar 2.12. Poliaromatik Hidrokarbon (Anonim IV, 2017)

c. Alifatik

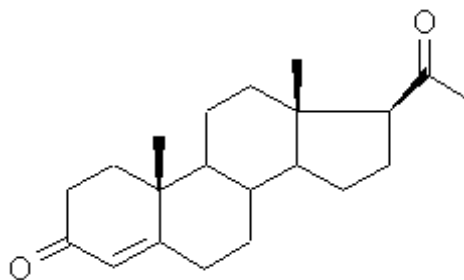
Senyawa alifatik adalah senyawa organik yang tidak mempunyai gugus fenil. Pada senyawa alifatik, atom karbon dapat saling mengikat dalam bentuk rantai lurus bercabang maupun bercabang, atau cincin non aromatik (alisiklik), dengan ikatan tunggal, ganda dan tiga ikatan kovalen, (Anonim, 2016). Etana, Isobutana dan Asetilen adalah contoh darinya senyawa alifatik sesuai pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Contoh Senyawa Alifatik (Anonim, 2016)

d. *Cyclo*

*Cyclo* atau disebut juga siklik dalam kimia menunjukkan rumus bangun senyawa atau gugus yang memiliki rantai karbon tertutup, baik berbentuk lingkaran maupun cincin, (Anonim, 2014). Bentuk senyawa siklik ditunjukkan pada Gambar 2.14.

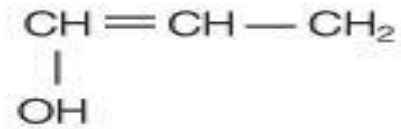


Gambar 2.14. Golongan *Cyclo*/Siklik (Klose dkk, 2013)

2. Golongan Oksigenat

Golongan oksigenat adalah golongan yang mengandung oksigen sebagai bagian dari struktur kimianya. Komponen kimia dari golongan persenyawaan ini terbentuk dari unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O).

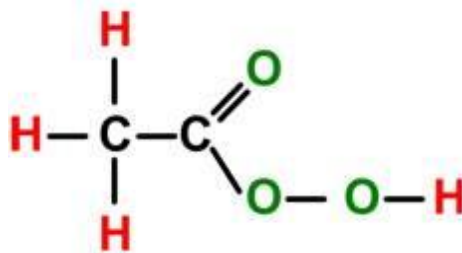
a. Alkohol



Gambar 2.15. Propenol Salahsatu Golongan Alkohol (Anonim I, 2011)

Alkohol adalah senyawa organik yang mengandung gugus fungsi senyawa OH. Alkohol bisa diperoleh dari Alkana, Alkena dan Alkuna tergantung dengan adanya pergantian gugus alkil dengan gugus OH pada atom karbon jenuh. Gambar 2.15 adalah contoh senyawa alcohol.

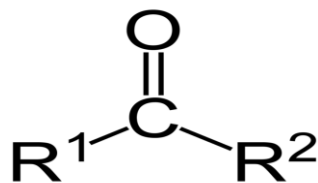
b. Asam



Gambar 2.16. *Oxoacid* (Anonim V, 2017)

Asam pada golongan oksigenat disebut juga *oxoacid* adalah suatu asam yang molekulnya memiliki gugus  $\text{OH}^-$  yang hidrogennya (H) dapat menjadi ion  $\text{H}^+$ . Secara khusus, asam pada golongan oksigenat adalah senyawa yang mengandung hidrogen, oksigen, dan setidaknya satu unsur lainnya, dengan setidaknya satu ikatan atom hidrogen dengan oksigen yang dapat terdisosiasi untuk menghasilkan kation  $\text{H}^+$  dan anion asam. Gambar 2.16 contoh dari senyawa asam.

c. Keton

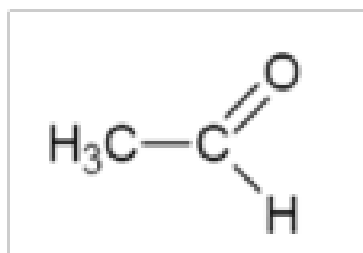


Gambar 2.17. Keton (Anonim, 2017)



Keton ( $R_1(CO)R_2$ ) disebut juga sebagai gugus fungsi yang dikarakteristikan oleh sebuah gugus fungsi karbonil ( $O=C$ ) yang terhubung dengan dua atom karbon ataupun senyawa kimia yang mengandung gugus karbonil. contoh senyawa keton ditunjukkan pada Gambar 2.17.

d. Aldehid

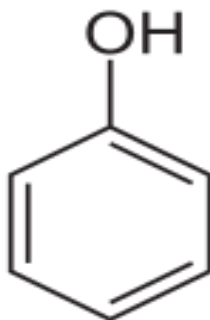


Gambar 2.18. Aldehid (Anonim II, 2015)

Aldehid ( $R-CHO$ ) atau disebut juga Aldehida merupakan senyawa organik yang memiliki gugus karbonil terminal. Gugus fungsi ini terdiri dari atom karbon (C) yang berikatan dengan atom hidrogen (H) dan berikatan rangkap dengan atom oksigen (O). Golongan aldehida juga dinamakan golongan formil atau metanoil. Kata aldehida merupakan kependekan dari alcohol dehidrogenasi yang berarti alkohol yang terdehidrogenasi, (Anonim II). Gambar 2.18 adalah contoh dari senyawa aldehid.

e. Phenol

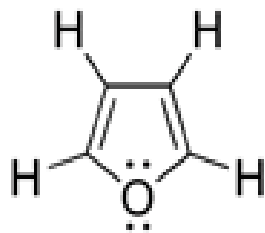
Fenol atau asam karbolat atau benzenol adalah zat kristal tak berwarna yang memiliki bau khas. Rumus kimianya adalah  $C_6H_5OH$  dan strukturnya memiliki gugus hidroksil ( $-OH$ ) yang berikatan dengan cincin fenil, (Anonim II, 2016). Gambar 2.19 adalah contoh senyawa fenol.



Gambar 2.19. Fenol (Anonim II, 2016)

f. Furan

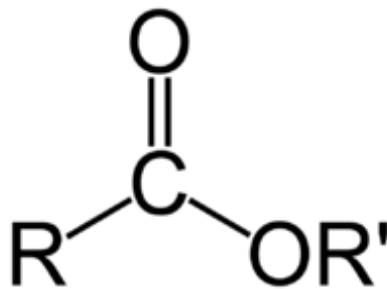
Furan atau disebut juga Furfuran atau Furana adalah senyawa kimia heterosiklik yang umumnya diturunkan dari dekomposisi termal dari bahan – bahan yang mengandung pentose. Furan tidak berwarna, mudah terbakar, sangat mudah menguap, beracun dan kemungkinan karsinogenik. Gambar 2.20 adalah contoh dari senyawa Furan



Gambar 2.20. Furan (Anonim III, 2017)

g. Ester

Ester adalah suatu senyawa organik yang terbentuk melalui penggantian satu (atau lebih) atom hidrogen pada gugus karboksil dengan suatu gugus organik (biasa dilambangkan dengan R'), Gambar 2.21 adalah contoh dari senyawa Ester.



Gambar 2.21. Ester (Anonim VI, 2017)