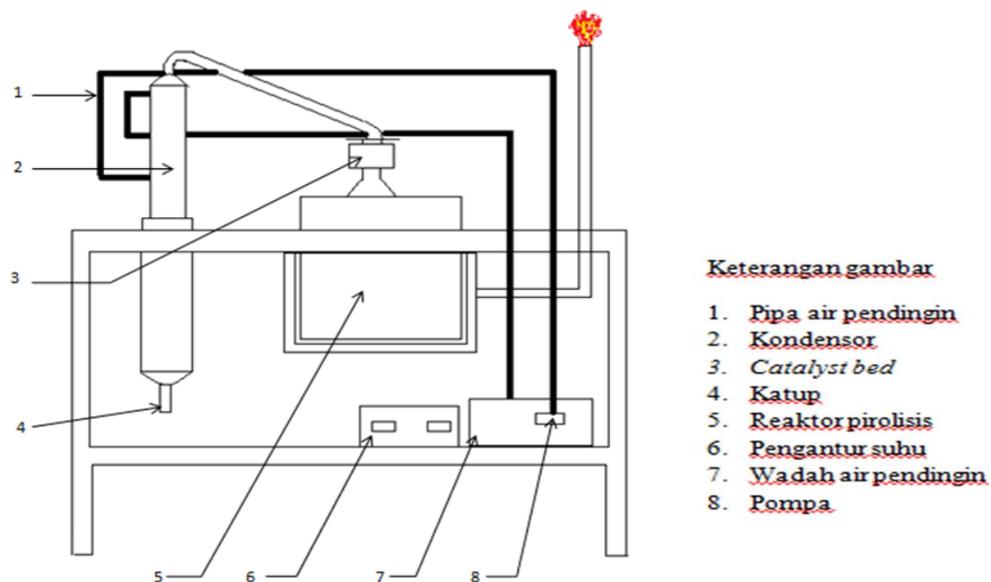


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Yuliansyah dkk (2015), proses pirolisis sampah plastik dengan menambahkan 300 gram katalis dan suhu reaktor yang diatur pada 300-400°C memperlihatkan bahwa pada suhu 300°C, tingkat dekomposisi termal sampah plastik masih relatif lambat sehingga minyak yang diperoleh hanya sebesar 27,9%. Akan tetapi dengan semakin meningkatnya suhu pirolisis hingga 350°C, minyak pirolisis diperoleh semakin besar hingga 52,6%. Pada suhu 400°C, produksi minyak pirolisis terjadi penurunan sehingga hasil yang diperoleh sebesar 41,9%. Hasil dari minyak pirolisis dievaluasi dengan persamaan 2.1 Pada tabel 2.1 menjelaskan sifat produk minyak dibandingkan dengan bahan bakar komersial.



Gambar 2.1 Peralatan Eksperimen untuk Pirolisis Limbah Plastik  
(Yuliansyah, 2015).

$$Yield \left( \% \frac{\text{volume}}{\text{weight}} \right) = \frac{\text{volume of oil ml}}{\text{mass of plastic feed (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

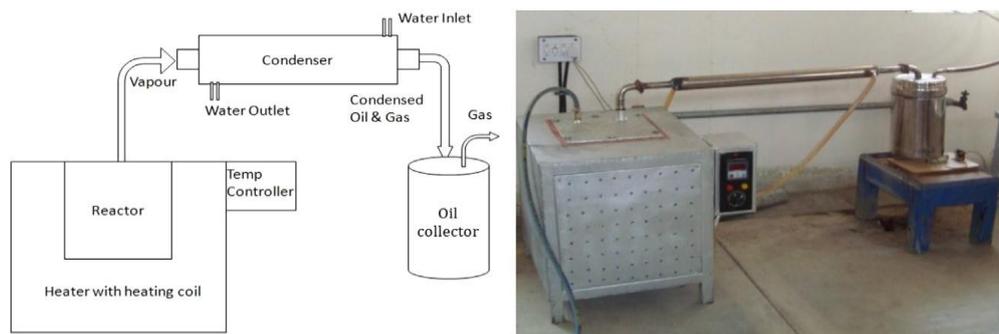
Tabel 2.1 Perbandingan produk (Yuliansyah, 2015).

Sample	Parameters				
	Specific Gravity at 60°F	Gross Heating Value, Btu/lb	Viscosity at 30°C, mm <sup>2</sup> /s	Flash Point, °C	Water Content, % vol.
Pyrolytic oil 1 (with zeolite catalyst)	0.77	20091.00	1.4	10	-
Pyrolytic oil 2 (without catalyst)	0.78	20022.00	1.7	10	-
Kerosene	0.84	20111.33	1.2	40	-
Gas Oil	0.78	19852.38	3.3	75	0.05
Diesel Oil	0.82	20304.76	2.1	55	-
HFO <sup>*)</sup>	0.95	18989.23	21.0	110	-
LFO <sup>**)</sup>	0.89	19334.49	30.0	79	0.10

Pengujian dan penelitian yang dilakukan oleh Lopez dkk (2011), tentang regenerasi dan penggunaan kembali zeolit ZSM-5 dipirolisis dari campuran plastik dilakukan dalam reaktor *semi-batch* pada 440°C. Hasilnya dibandingkan dengan *fresh-catalyst* dan pada percobaan *non-catalytic* dengan kondisi yang sama. Penggunaan *fresh-catalyst* menghasilkan perubahan yang signifikan, baik di hasil pirolisis dan properti dari cairan dan gas yang diperoleh.

Setelah percobaan satu kali pirolisis maka zeolit akan mengalami kehilangan sifat awalnya, yang dapat dilihat pada perbandingan hasil dan kualitas antara kedua produk. Namun, zeolit akan kembali keaktifitas awalnya setelah mengalami regenerasi pada pemanasan suhu 550°C, kemudian zeolit akan pulih kembali setara dengan *fresh-catalyst*. Hilangnya aktivitas zeolit ZSM-5 untuk mengevaluasi apakah katalis yang efektif ini bisa digunakan lebih dari sekali dalam pirolisis campuran plastik. Dengan tujuan ini, karakterisasi lengkap dari produk yang diperoleh di pirolisis termal dan dengan *fresh-catalyst*, regenerasi dan menghabiskan ZSM-5.

Pengujian dan penelitian yang dilakukan oleh Senthilkumar & Sankaranarayan (2015), dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel tanpa modifikasi mesin. Limbah plastik dikumpulkan dan dihancurkan sebanyak 10 kg kemudian dimasukkan dalam ruang reaktor. Suhu reaktor dipanaskan pada kisaran suhu 320 - 500°C selama 3 - 4 jam. Pada suhu tinggi ini, sampah plastik akan menguap dan melewati perangkat kondensor. Perpindahan kalor dari reaktor ke kondensor sehingga suhunya menurun dan terjadi kondensasi uap plastik menjadi cairan dan gas. Proses pirolisis melibatkan memecah molekul besar untuk molekul yang lebih kecil. Dari penelitian pirolisis didapat produk minyak 75 - 90% (campuran bensin, solar dan minyak tanah), Gas 5 - 20% dan sisa arang 5 - 10%. Sifat minyak *diesel* sampah plastik dan limbah plastik campuran *oil* diperlihatkan pada tabel 2.2.



Gambar 2.2 Eksperimental dari Proses Pirolisis (Senthilkumar, 2015).

Tabel 2.2 Sifat Minyak *Diesel* dari Sampah Plastik (Senthilkumar, 2015).

Properties	Protocol	Diesel	WPO oil	Jatropha oil	PJ 10	PJ 20
Density 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	ISI448,P16	860	835	916	845	854
Kinematic viscosity 40°C(cSt)	ASTM D445	2,107	3,254	3,75	3,302	3,363
Flash point(°C)	ISI448,P20	50	41	178	59	71
Fire point(°C)	ISI448,P20	56	49	185	65	79
Gross calofire value(kj/kg)	ISI448,P25	42,500	43,388	39,641	39,168	38,287
Cetane number	ISI448,P9	50	48	53	52	52,6

Pengujian dan penelitian yang dilakukan oleh Zainuri & Mustofa (2014), sampah plastik dipotong dan dimasukkan kedalam reaktor dan dipanaskan hingga suhu 900°C, lalu uap dikondensasikan melalui kondensor. Bahan bakar minyak yang dihasilkan pada suhu pemanasan 900°C diuji nilai kalornya dengan menggunakan *bom calorimeter* dan pengujian gas *chromatografi* (GC).

Pengujian GC banyak ditemukan senyawa kimia yang ditandai dengan adanya puncak (*peak*) dalam produk GC tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literature, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel (Pavia, 2006). Hal ini dapat dilakukan karena salah satu kegunaan dari kromatografi gas (GC) adalah untuk memisahkan senyawa-senyawa dari sampel. Setelah itu, di dapat hasil dari susunan masa pada grafik yang berbeda.

Nilai kalor yang diperoleh dibandingkan nilainya dengan standar dan mutu bahan bakar minyak yang dipasarkan di dalam negeri (Dept.ESDM RI 2008), untuk memenuhi kalor bakar harus di atas 41,870 J/g. berdasarkan hasil pengujian nilai kalor yang dihasilkan sebesar 11.189 cal/g atau 46,848 J/g, sehingga memenuhi kalor bahan bakar yang dipasaran di dalam negeri.

Tabel 2.3 Nilai Kalor Hasil Pengujian (Zainuri, 2014).

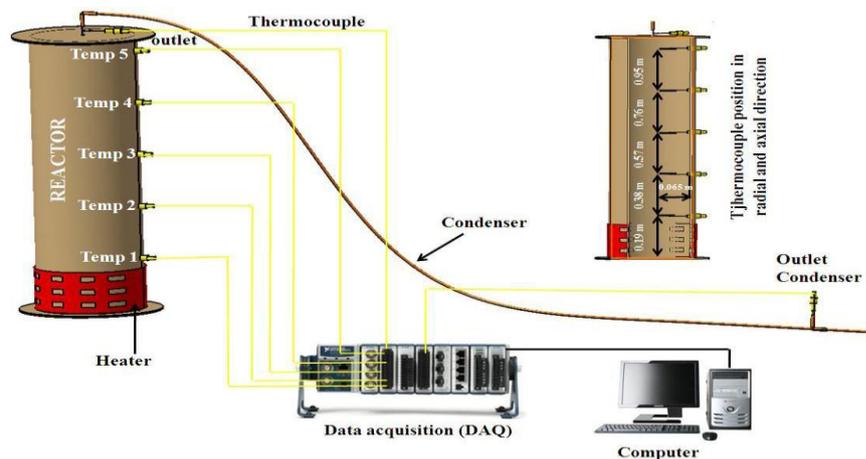
NILAI KALOR	CV (Cal/g)
BBM plastik	11,189
premium	11,245
Standar mutu ESDM RI	10,000

Tabel 2.4 Data Senyawa Bahan Bakar Cair dari Sampah Plastik (Zainuri, 2014).

NO	PEAK	%Area	Golongan	Rumus
1	1	64,69	2propanon/aseton	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
2	2	27,08	Asam borat	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
3	3	0,09	-	-
4	4	6,93	Asam asetat	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
5	5	1,2	siklopentanon	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O

Kesimpulan dari penelitian (Zainuri, 2014) didapat hasil pengujian bahwa bahan bakar yang dihasilkan dari proses pirolisis pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  diperoleh kadar senyawa yang mudah terbakar (2-propanon) bertambah dan senyawa karsonogenik (asam borat dan siklopentanon) berkurang.

Penelitian yang dikerjakan oleh Hartulistiyoso dkk (2015) dilakukan dengan menggunakan reaktor silinder, yang memiliki diameter 0,31 meter dan tinggi 1 meter. Dalam rangka untuk memahami distribusi temperatur dalam reaktor, lima termokopel ditempatkan untuk mengukur suhu di bagian bawah dan bagian atas reaktor serta di tengah, dengan posisi yang berbeda dari masing-masing termokopel 0,19 m. Suhu di luar reaktor dan luar kondensor juga diukur. *Data Acquisition* mencatat semua data suhu reaktor yang digunakan untuk memproses 1.500 gram plastik. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) juga digunakan untuk mengetahui kontur suhu di dalam reaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk meningkatkan suhu dari suhu normal ke  $450^{\circ}\text{C}$ , dibutuhkan waktu 72 menit. Proses pirolisis dari 1.500 gram plastik selesai pada 110 menit untuk menghasilkan 21 gram bahan bakar cair.



Gambar 2.3 Reaktor Pirolisis (Hartulistiyoso, 2015).

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1. Pengertian Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal bahan organik melalui proses pemanasan tanpa oksigen di dalam wadahnya, selanjutnya sampel uji mengalami pemecahan struktur kimia menjadi cairan maupun menjadi gas.

Pirolisis banyak digunakan pada industri kimia, misalnya untuk menghasilkan karbon aktif, methanol, biomassa menjadi gas, dan mengubah limbah menjadi bahan yang dapat digunakan secara aman.

Hasil produk dari pirolisis terpisahkan menjadi tiga jenis yaitu cair, gas dan padat, dari ketiga produk tersebut mempunyai banyak unsur-unsur kimia seperti golongan aromatik, *alkane* atau *alkene*. Tingginya persentase dari golongan unsur kimia dipengaruhi oleh variasi massa sampel uji pada saat melakukan pirolisis, hal ini di sebabkan karena unsur kimia yang terdapat pada salah satu sampel uji memiliki kandungan unsur kimia yang tinggi dari sampel uji yang lain.

Jenis-jenis pirolisis mempunyai tiga variasi yaitu:

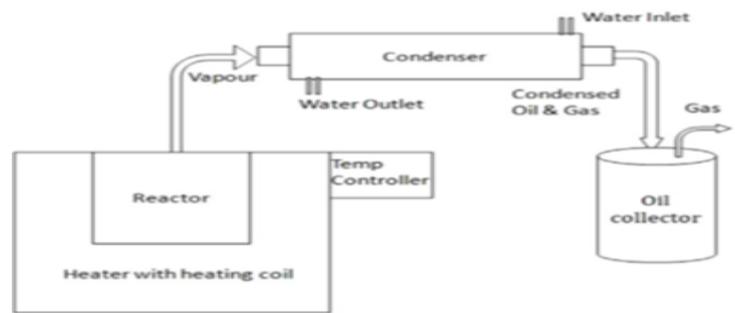
1. Pirolisis sedang.
2. Pirolisis lambat.
3. Pirolisis cepat.

Faktor yang mempengaruhi dari pirolisis adalah temperatur. Pada temperatur 400°C hasil dari pirolisis belum maksimal dikarenakan tingkat dekomposisi termal yang masih lambat. Pada temperatur 450°C terjadi kenaikan cairan dan masih sedikitnya kadar gas yang disebabkan oleh keluarnya volatil secara sempurna, dan pada temperatur 500°C terjadi penurunan cairan tetapi terjadi kenaikan gas yang disebabkan oleh berubahnya senyawa makro menjadi senyawa mikro.

Jenis – jenis desain reaktor pirolisis adalah sebagai berikut:

1. *Fixed or moving bed*

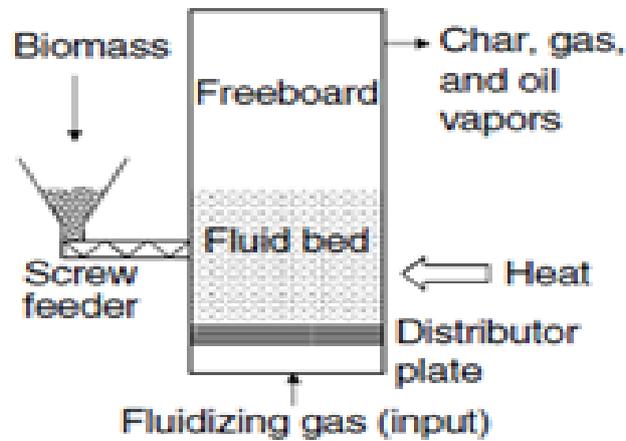
*Fixed or moving bed* yang beroperasi pada reaktor tetap, keuntungan menggunakan reaktor ini adalah sederhana, lebih murah, teknologi yang sudah terbukti (proven), dan dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah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



Gambar 2.4 reaktor *fixed moving bed* (Sentilkumar, 2015).

2. *Bubbling fluidized bed*

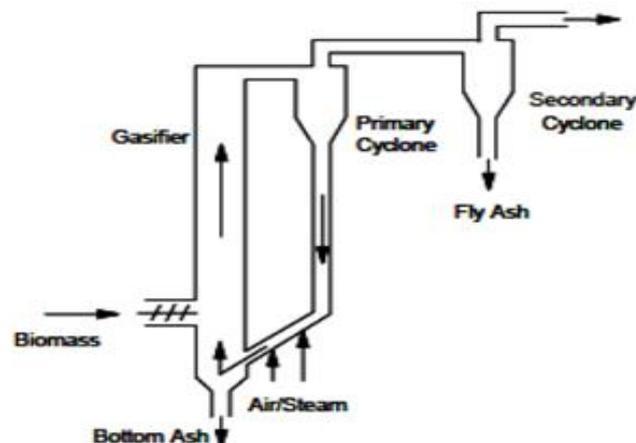
Reaktor yang bertipe *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor paling baik. Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara normal 1 atm dengan temperatur sedang 450°C, dan dapat menghasilkan bio-oil hingga 75% dari massa, tergantung dari biomassa yang di gunakan sebagai sumber. Pada pirolisis ini menggunakan pasir silika sebagai fluidisasi karena pasir silika mempunyai titik lebur yang tinggi mencapai 1800°C maka sangat cocok untuk aplikasi gasifikasi *fluidized bed*. Gambar 2.5 adalah gambar reaktor *bubbling fluidized bed*.



Gambar 2.5 Reaktor *bubbling fluidized bed* (Basu, 2010).

### 3. *Circulating fluidized bed*

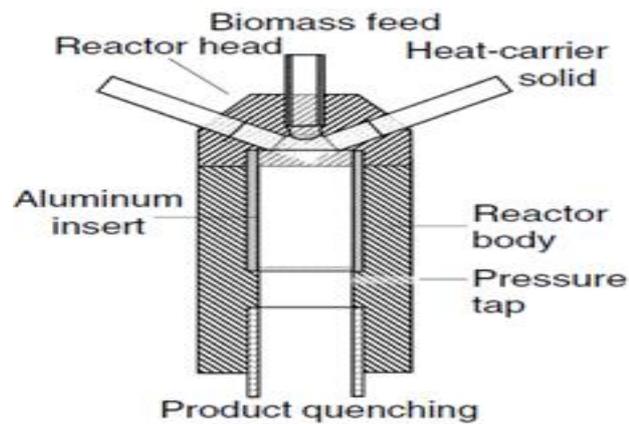
*Circulating fluidized bed* adalah reaktor dengan cara kerja seluruh padatan material terbawa oleh aliran, selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah cocok untuk reaksi berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi, dan produksi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



Gambar 2.6 Reaktor *Circulating fluidized bed* (Grabouski, 2004).

#### 4. *Ultra – rapid pyrolyzer*

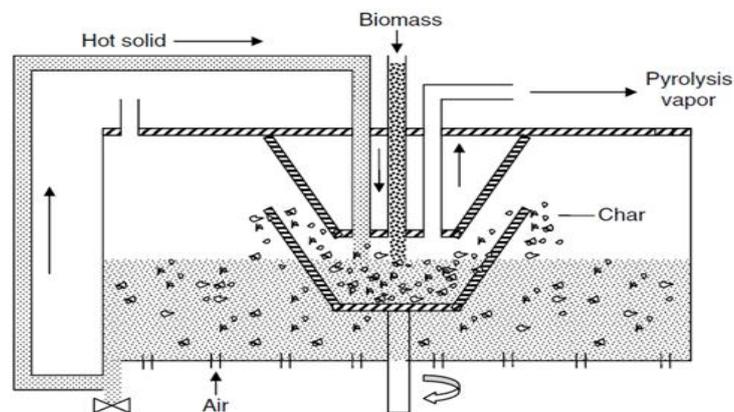
*Ultra – rapid pyrolyzer* adalah reaktor dengan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C, maka akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan Hulet dkk, (2005). Gambar 2.7 adalah gambar reaktor *ultra-rapid pyrolyzer*.



Gambar 2.7 Reaktor *ultra-rapid pyrolyzer* (Basu, 2010).

#### 5. *Rotating cone*

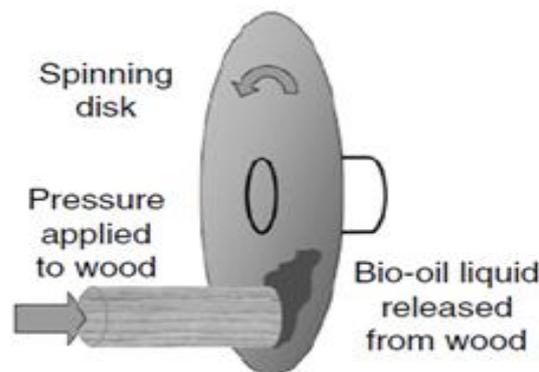
*Rotating cone* adalah reaktor yang menggunakan pasir silika sebagai media pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh yang diakibatkan oleh putaran dari wadah.



Gambar 2.8 Reaktor *Rotating cone* (Basu, 2010).

## 6. *Ablative pyrolyzer*

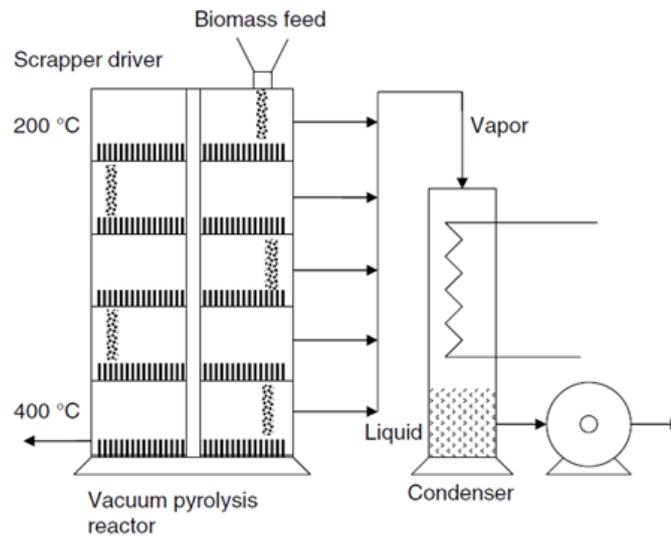
*Ablative pyrolyzer* adalah reaktor yang melibatkan tekanan tinggi antara partikel biomassa dan plat putar sebagai media pemanas. Hal ini memungkinkan perpindahan panas tanpa hambatan dari dinding ke biomassa yang menyebabkan produk cair dari biomassa meleleh keluar dari biomassa. Akibat dari transfer panas yang tinggi maka waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis akan lebih cepat dengan hasil produk gas yang sedikit dan hasil cairan sebanyak 80% Diebold & Power (1988).



Gambar 2.9 Reaktor *Ablative pyrolyzer* (Basu, 2010).

## 7. *Vacuum pyrolyzer*

*Vacuum pyrolyzer* adalah reaktor yang terdiri dari beberapa tingkatan, tingkatan paling atas bersuhu 200°C dan tingkatan paling bawah bersuhu 400°C. Biomassa dimasukkan ke bagian atas dan akan mengalami pengeringan selama biomassa turun kebawah sehingga menjadi arang. Pemanasan yang lambat akan meningkatkan jumlah arang dan menghasilkan cairan yang banyak, hal ini disebabkan karena reaktor yang tekanannya kurang dari 1 atm akan disedot oleh *vacuum* sehingga kalor dan cairan dipaksa keluar dari reaktor (brown, 2006).



Gambar 2.10 Reaktor *vacuum pyrolyzer* (Basu, 2010).

### 2.2.2. Batubara

Batubara adalah tumbuhan yang telah mati dan tertimbun oleh tanah jutaan tahun yang lalu bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur tumbuhan kedalam tanah sampai ketempat yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, tumbuhan akan terkena suhu panas bumi dan tekanan tinggi. Suhu panas bumi dan tekanan tinggi menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi batubara. Pembentukan batubara dimulai sejak *Carboniferous Period* (Periode Pembentukan Karbon atau Batubara) dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 290 juta sampai 360 juta tahun yang lalu.

Kualitas dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu panas bumi dan tekanan serta lama waktu pembentukannya, yang disebut sebagai maturitas organik. Proses awalnya gambut berubah menjadi lignite (batubara muda) atau *brown coal* (batubara coklat), ini adalah batubara dengan jenis maturitas organik rendah. Dibandingkan dengan batubara jenis lainnya, batubara muda agak lembut dan warnanya bervariasi dari hitam pekat sampai kecoklat-coklatan. Mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus selama jutaan tahun, batubara

muda mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi batubara sub-bitumen. Perubahan fisika dan kimiawi terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk bitumen atau antrasit.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya dikarenakan oleh panas bumi dan lama waktu pembentukannya, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

1. Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

Berikut ini adalah Uji *Ultimate* dan *Proximate* Batubara:

### 1. Analisis *Proximate*

Tujuan untuk analisis proximate batubara adalah menentukan jumlah *fixed carbon* (FC), *volatile matters* (VM), *moisture* dan *ash* di sampel batubara dalam satuan persen berat (wt. %) dan dikalkulasi dalam beberapa different bases seperti AR (*as-received*) basis, AD (*air-dried*) basis, DB (*dry-basis*), DAF (*dry, ash free*) basis dan DMMF (*dry, mineral-matter-free*) basis (Novie, 2014).

Tabel 2.5 Data Analisis *Proximate* Batubara (Novie, 2014).

Analisis Proximate	Unit	(Ar)	(Ad)	(Db)	(Daf)
Moisture	(wt.%)	3,3	2,7		
Ash	(wt.%)	22,1	22,2	22,8	
Volatile Matter	(wt.%)	27,3	27,5	28,3	36,6
Fixed Carbon	(wt.%)	47,3	47,6	48,9	63,4
Gross Calorific Value (MJ/KG)	(MJ/kg)	24,73	24,88	25,57	33,13

### 2. Analisis *Ultimate*

Analisis *ultimate* mempunyai kemiripan dengan analisis *proximate* batubara. Tujuan dari analisis *ultimate* batubara adalah untuk menentukan kelas batubara. *Ultimate analysis* menganalisis jumlah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), belerang (S), dan elemen lainnya dalam sampel batubara. Variabel-variabel ini juga diukur dalam persen berat (% berat) dan dihitung dalam basis yang dijelaskan di atas (Novie, 2014).

Tabel 2.6 Data Analisis *Ultimate* Batubara (Novie, 2014).

Analisis Ultimate	unit	(AR)	(AD)	(DB)	(DAF)
Carbon (C)	(wt.%)	61,1	61,5	63,2	81,9
Hydrogen (H)	(wt.%)	3,00	3,02	3,10	4,02
Nitrogen (N)	(wt.%)	1,35	1,36	1,40	1,81
Total Sulfur (S)	(wt.%)	0,4	0,39	0,39	
Oxygen (O)	(wt.%)	8,8	8,8	9,1	

### 2.2.3. Plastik

Plastik mempunyai peranan besar dalam kehidupan sehari-hari biasanya digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman karena sifatnya yang kuat, ringan dan praktis. Plastik sebagai material polimer atau bahan pengemas yang dapat dicetak menjadi bentuk yang diinginkan dan mengeras setelah didinginkan atau pelarutnya diuapkan. Polimer adalah molekul yang besar yang telah mengambil peran yang penting dalam teknologi karena mudah dibentuk dari satu bentuk ke bentuk lain dan mempunyai sifat, struktur yang rumit (Putri, 2014). Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur yang tersusun secara berulang dan diikat oleh gaya tarik menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen (Sari, 2014).

Plastik dapat digolongkan berdasarkan sifat fisiknya:

#### 1. Polimer *Termoplastik*

Polimer *termoplastik* adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan jika didinginkan akan menjadi keras. Proses tersebut dapat terjadi berulang, sehingga dapat di bentuk dengan mudah dengan menggunakan cetakan.

## 2. Polimer *Thermosetting*

Polimer *thermosetting* adalah polimer yang mempunyai sifat tahan terhadap panas. Jika polimer dipanaskan, maka tidak meleleh sehingga tidak dapat dibentuk ulang kembali. Polimer ini memiliki sifat permanen pada bentuk awalnya (pada saat pembuatan). Apabila polimer ini rusak atau pecah, maka tidak dapat disambung atau di perbaiki.

Polimer *thermosetting* 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.

### 2.2.4. Plastik LDPE

*Polietilena* berdensitas rendah LDPE (*low density polyethylene*) adalah *termoplastik* yang terbuat dari minyak bumi. Pertama kali diproduksi oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI) pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal bebas. Plastik LDPE dapat didaur ulang, memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang dicirikan dengan densitas antara 0,910 – 0,940 g/cm<sup>3</sup>. LDPE memiliki derajat tinggi terhadap rantai percabangan rantai panjang dan pendek, yang berarti tidak akan berubah menjadi struktur Kristal (Tuasikal, 2011). Juga tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan, plastik LDPE dapat bertahan pada temperatur 90 °C dalam waktu yang tidak terlalu lama, dan memiliki percabangan yang banyak, lebih banyak daripada HDPE sehingga gaya antar molekulnya rendah.

Ketahanan plastik LDPE terhadap bahan kimia diantaranya:

1. Tak ada kerusakan dari asam, basa, alkohol, dan ester.
2. Kerusakan kecil dari keton, aldehida, dan minyak tumbuh-tumbuhan.
3. Kerusakan menengah dari hidrokarbon alifatik dan aromatik dan oksidator.
4. Kerusakan tinggi pada hidrokarbon terhalogenisasi.

Tabel 2.7 Analisis Proximate dan Ultimate LDPE.

$M_{ad}$	0,02
$A_{ad}$	0,15
$V_{ad}$	99,83
$FC_{ad}$	-
$Q_{b,ad}/kj.kg^{-1}$	46362
$C_{ad}$	85,83
$H_{ad}$	14,38
$N_{ad}$	0,16
$S_{ad}$	0,07
$O_{ad}$	-

Keterangan:

$M_{ad}$ = Kelembapan,  $A_{ad}$ = Abu,  $FC_{ad}$ = Karbon tetap,  $Q_{b,ad}/kj.kg^{-1}$ = Kalor,  $C_{ad}$ = Karbon,  $H_{ad}$ = Hidrogen,  $N_{ad}$ = Nitrogen,  $S_{ad}$ = Sulfur,  $O_{ad}$ = Oksigen.

### 2.2.5. Zeolit

Menurut Hamdan (1992), bahwa zeolit merupakan suatu mineral berupa kristal silika alumina yang terdiri dari tiga komponen yaitu kation yang dapat dipertukarkan, kerangka alumina silikat dan air. Air yang terkandung dalam pori tersebut dapat dilepas dengan memanaskan pada temperatur 300°C-400°C. Pemanasan pada temperatur tersebut air dapat keluar dari pori-pori zeolit, sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan (Sutarti, 1994).

Banyaknya air yang terkandung dalam zeolit sesuai dengan banyaknya pori atau volume pori.

Zeolit banyak ditemukan dalam batuan kerangka dasar struktur dari zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral  $\text{AlO}_4^{2-}$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur,  $\text{Si}^{4+}$  dapat diganti dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Ikatan Al-O-Si membentuk struktur kristal sedangkan logam alkali tanah merupakan sumber kation yang dapat dipertukarkan (Sutarti, 1994).

Struktur yang khas dari zeolit yaitu adanya kanal dan pori, menyebabkan zeolit memiliki luas permukaan yang besar. Menurut (Dyer, 1988) luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar disbanding dengan permukaan luarnya. Luas permukaan yang besar ini sangat menguntungkan dalam pemanfaatan zeolit baik sebagai adsorben ataupun sebagai katalis heterogen.

#### **2.2.6. Zeolit Alam**

Zeolit merupakan material yang memiliki banyak kegunaan, zeolit telah banyak diaplikasikan sebagai adsorben, penukar ion, dan sebagai katalis. Zeolit adalah mineral kristal alumina silika tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Chetam, 1992)

Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batu - batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Para ahli geokimia dan mineralogi memperkirakan bahwa zeolit merupakan produk gunung berapi yang membeku menjadi batuan vulkanik, batuan sedimen dan batuan metamorfosa yang selanjutnya mengalami proses pelapukan karena

pengaruh panas dan dingin sehingga akhirnya terbentuk mineral-mineral zeolit. Anggapan lain menyatakan proses terjadinya zeolit berawal dari debu-debu gunung berapi yang beterbangan kemudian mengendap di dasar danau dan dasar lautan. Debu-debu vulkanik tersebut selanjutnya mengalami berbagai macam perubahan oleh air danau atau air laut sehingga terbentuk sedimen-sedimen yang mengandung zeolit di dasar danau atau laut tersebut (Setyawan, 2002). Jenis zeolit alam dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Zeolit yang terdapat di antara celah-celah batuan atau di antara lapisan batuan zeolit jenis ini biasanya terdiri dari beberapa jenis mineral zeolit bersama-sama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida.
2. Zeolit yang berupa batuan; hanya sedikit jenis zeolit yang berbentuk batuan, diantaranya adalah: klinoptilolit, analsim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabsit dan heulandit.

#### **2.2.7. Penggunaan Zeolit Alam sebagai Pirolisis**

Produk pirolisis polietilena mengandung unsur kimia olefin  $C_9 - C_{15}$ , sedangkan produk pirolisis dengan katalis zeolit alam unsur kimia olefin  $C_3 - C_{12}$  (Suseno, 2004), dengan demikian penggunaan zeolit alam pada proses pirolisis asam dapat meningkatkan produk hidrokarbon yang dihasilkan, dibuktikan dengan gas kromatografi (GC) menunjukkan bahwa pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit dihasilkan produk dengan berat molekul yang lebih ringan. Selain itu, dengan menggunakan katalis zeolit alam berfungsi untuk meningkatkan reaksi pirolisis, menghasilkan gas yang cukup banyak karena ukuran pori zeolit yang kecil dan perbandingan Silika-Alumina yang tinggi yaitu 76,6% silika 9% (wt) alumina (Faravelli, 2001).

Disisi lain, potensi zeolit alam yang banyak di Indonesia memberikan peluang untuk mengembangkan sebagai katalis dalam penelitian pirolisis limbah plastik, ataupun penelitian dalam hal yang lain. Zeolit merupakan katalis yang umum digunakan dalam proses perengkahan limbah plastik dengan cara pirolisis

(Nurhadi, 2001). Salah satu kelebihan dari zeolit adalah memiliki luas permukaan dan tingkat keasaman yang mudah dimodifikasi (Kumar, 2015).

Tentang pengaruh jumlah katalis zeolit alam pada pirolisis, reaktor yang digunakan semi *batch stainless steel unstirred* beroperasi dengan tekanan 1 atm dan dialiri nitrogen. Sampel yang digunakan polipropilen (PP) sebanyak 50 gram dan zeolit (20%). Suhu yang digunakan untuk pirolisis adalah 450°C dengan waktu 30 menit. Dari analisa GC-MS produk *liquid* banyak mengandung senyawa aromatis, Sa'diyah & Juliastuti (2015).