

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Santoso (2010) melakukan penelitian pirolisis sampah plastik uji sifat minyak dan performasi kompor. Metode pirolisis menggunakan 5 variasi temperatur pada dinding reaktor yaitu 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C. Plastik yang digunakan sebagai bahan utama adalah plastik jenis PP dan LDPE dengan contoh, botol plastik dan kantong plastik makanan. Hasil paling signifikan terjadi pada masa jenis, dan viskositas dimana perbandingan *Pyrolytic-Oil* plastik PP sebesar 0,43 cP dan LDPE sebesar 0,58 cP. Nilai kalor yang dihasilkan rata-rata pada angka 43,34 MJ/kg. Tiap jenis plastik memiliki nilai kalor yang berbeda-beda jika diolah menjadi *Pyrolytic-Oil* dengan metode pirolisis.

Gani (2013) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah padat kelapa sawit menggunakan metode pirolisis hasil *Pyrolytic-Oil* dianalisis menggunakan *spektroskopi kromatografi* (GC-MS). Limbah padat kelapa sawit terdiri dari cangkang, tandan dan serat sawit. Penelitian dilakukan dengan temperatur 500°C selama 5 jam dengan tipe reaktor 21100. Identifikasi *Pyrolytic-Oil* limbah kelapa sawit terdiri dari 5 unsur utama sebagai berikut 2-Metoksi-4-Metilfenol 3,20%, 4-Metilfenol 4,74%, Asam Tetradekanoat 4,78%, Metil ester 5,16%, dan Asam Dodekanoat 30,02%. Senyawa golongan pada hasil *Pyrolytic-Oil* yang dihasilkan antara lain Hidrokarbon, Fenol, Furan, asam-asam Karboksilat, Lakton, Karbonil, dan Alkohol.

Mandala dkk (2016) melakukan penelitiannya pengaruh suhu terhadap rendemen dan nilai kalor minyak hasil pirolisis sampah plastik menggunakan jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*). Temperatur pada proses pirolisis yang bagus terjadi pada suhu 370°C sampai 420°C dimana semakin tinggi suhu pirolisis sebanding dengan kuantitas minyak yang dihasilkan. Akan tetapi, terjadi dekomposisi pada suhu 500°C ke atas produksi gas akan semakin banyak dan kuantitas minyak akan berkurang. Pengaturan temperatur berdampak pada efisiensi energi dan keberhasilan pirolisis, dimana semakin tinggi suhu yang digunakan maka semakin tinggi energi yang dilepas.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 10 kg bahan utama dengan bahan bakar kayu, ranting, kayu bakar dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, dan 450°C dengan waktu 1 jam 30 menit. Hasil penelitian ini diketahui *Pyrolytic-Oil* yang paling tinggi dihasilkan pada temperatur 400°C dengan nilai kalor 10,292 kal/g dan nilai kalor terendah pada temperatur 200°C dengan nilai kalor yang dihasilkan 9,254 kal/g.

Endang dkk (2016) melakukan penelitian pengolahan sampah plastik dengan metoda pirolisis menjadi bahan bakar minyak dengan tujuan menganalisa sifat fisik dan sifat kimia pada *bio-oil*. Jenis plastik yang digunakan yaitu PP (*Polypropylene*) dan LDPE (*Low Density Polyethylene*) sebagai alasan kuantitas jenis plastik tertinggi sebagai limbah plastik dimana bahan utama dimasukkan kedalam reaktor modifikasi menggunakan pasir silika pada alas reaktor. Pada penelitian ini pirolisis menggunakan zeolit sebagai katalis dimana bertujuan pada hasil gas terjadi proses cracking dengan sempurna. Variasi temperatur yang digunakan yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C dimana temperatur awal reaktor 400°C, waktu pirolisis dilakukan dalam 60 menit. Pengaruh dan jenis Plastik terhadap produksi *Pyrolytic-Oil* dimana PP proses pirolisis terjadi pada temperatur 400°C dan untuk LDPE terjadi pada 300°C dengan senyawa C₃ dan C₄ pada kandungan gas. Pengaruh suhu 300°C pada densitas pada plastik PP dan LDPE didapatkan 0,7905 gr/mL dan 0,7960 gr/mL dimana mendekati densitas minyak tanah, sedangkan densitas tertinggi pada suhu 250°C sebesar 0,8598 gr/mL mendekati densitas solar. Pada nilai kalor *Pyrolytic-Oil* pirolisis plastik terjadi peningkatan pada temperatur 250°C sebesar 8719,3 kkal/kg sampai 9533,1 kkal/kg pada 400°C untuk Plastik LDPE dan 10084,6 kkal/kg sampai 10570,1 kkal/kg pada plastik jenis PP mendekati 92400,0 kkal/kg nilai kalor solar.

Wardana dkk (2016) melakukan penelitian tentang pirolisis lambat campuran cangkang kelapa sawit dan plastik dengan katalis Zeolit Alam. Metode penelitian cangkang dengan nilai kalor 21-23 MJ/kg dan kantong plastik dipotong berukuran panjang 3 cm sampai 7 cm persentase 0% sampai 30% masa 400 gr dimasukkan dalam reaktor fixed bed. Variasi temperatur 400°C, 450°C dan 500°C laju pemanasan 2,5 °C

per menit dan heater melingkari reaktor dengan daya 5000 watt. Hasil yang diketahui yaitu plastik *polythlene* akan meleleh pada temperatur 105°C - 130°C. Pengaruh Zeolit alam sebagai katalis dimana gas yang dihasilkan meningkat disertai penurunan produk cair. Pengaruh reduksi Oksigen pada *Pyrolytic-Oil* tanpa katalis menghasilkan kandungan Fenol dan asam sebesar 42,72% dan 55,11%. Pirolisis dengan penggunaan katalis Zeolit Alam meningkatkan Fenol menjadi 62,52% , Alkana 20,47% dan Alkena 6,85%. Dapat ditarik kesimpulan penggunaan katalis Zeolit Alam untuk mereduksi Oksigen pada produk *bio-oil*, menurunkan kandungan asam dan meningkatkan kandungan Alkana dan Alkena.

Rahman (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur dan variasi persen katalis, dengan variasi temperatur 300°C, 350°C, dan 400°C. Plastik dengan berat 100 gr dimasukan bersama katalis selama 60 menit dengan variasi temperatur yang berbeda-beda. Produk yang dihasilkan terjadi peningkatan pada 300°C sebesar 43,68 dan 400°C sebesar 65,57% tanpa katalis. Produk pirolisis diperoleh temperatur efisien pada temperatr 400°C yang mana menghasilkan nilai kalor 44,673 kJ/kg. selain nilai kalor hasil produk pirolisis yang diperoleh adalah densitas 0,87 gr/ml, nilai viskositas kinematic 2,140 cSt, dan flash point pada temperatur 52°C. Penggunaan katalis 7% mempengaruhi produk sebesar 75,69% dibanding dengan produk tanpa katalis.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya dimana pada penelitian Andreyan (2017) variasi katalis yang digunakan CaO dan massa jenis cangkang sawit, plastik masing-masing 500 gram. Variasi temperatur yang digunakan memiliki kesamaan dengan penelitian Mandala (2016) dengan variasi temperatur 300°C sampai 450°C. Inovasi pada penelitian ini adalah penambahan katalis Zeolit alam dengan massa 75% dari total massa bahan baku yaitu sebesar 225 gram. penambahan variasi pengujian fisik pada *Pyrolytic-Oil* yaitu viskositas dari pengujian sebelumnya.

2.2 Dasar Teori

Dasar teori merupakan bagian sub bab yang menjelaskan secara fungsional bahan dan berapa proses. Bagian ini meliputi teori bahan utama dan katalis dilihat dari kandungan dan fisik bahan. Metode juga tidak lepas dari sub bab ini dimana penjabaran dari pirolisis sampai dengan jenis-jenisnya.

2.2.1 Cangkang Kelapa Sawit

Produksi minyak sawit 36.000 ton tiap tahun, menjadikan Indonesia sebagai pengembang kelapa sawit terbesar didunia. Produksi minyak sawit sebesar 85% merupakan hasil produksi dari Indonesia seiring perkembangan industry. Jenis limbah yang dihasilkan berupa limbah pada , gas dan cair, salah satu limbah padat industri sawit yang dapat dikembangkan adalah cangkang sawit. Perbandingan dengan tingginya kuantitas limbah dan nilai kalor 19,15 MJ/kg menjadikan bahan utama *Pyrolytic-Oil* dengan pengembangan teknologi yang sempurna (Sukmana, 2014).



Gambar 2.1 Cangkang Kelapa sawit

Kandungan senyawa biomassa pada cangkang kelapa sawit yaitu (C, H, O, N, dan S). Pengaruh volatil pada tingkat penguapan dimana proses kondensasi mempengaruhi tingkat abu, densitas, karbon dan kadar air dapat dianalisis melalui analisis *ultimate* dan *proximate* cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil *ultimate* dan *proximate* pada cangkang kelapa sawit
(Krongkaew, 2010).

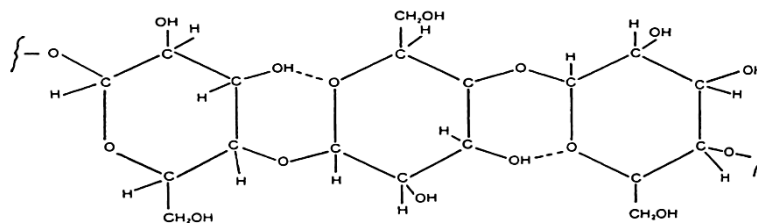
Parameter		Nilai	Unit
Kadar air		12	% wt
Kadar abu		3,5	% wt
Volatil matter		68,2	% wt
Karbon tetap		16,3	% wt
LHV		18,267	MJ/kg
	C	44,44	% wt
Komponen	H	5,01	% wt
	N	0,28	% wt
	S	0,7	% wt
	O	34,7	% wt

Sifat fisik pada cangkang kelapa sawit adalah berwarna hitam abu-abu kecoklatan, bentuk oval, dikelilingi oleh serabut dan tingkat kekerasan yang tinggi. Produksi industri minyak utama menghasilkan sebesar 50% limbah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit biasanya dimanfaatkan sebagai penghasil karbon aktif dimana daya serap *iodine* sebesar 28,9%. Kandungan hemiselulosa dan selulosa sebesar 45% menjadikan pemanfaatan cangkang menjadi karbon aktif dimana fungsinya sangat efektif untuk mengadsorpsi kandungan air (Oktari, 2014). Pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit biasa digunakan sebagai material pengeras jalan, arang dan pupuk tanaman. Masuk dalam kategori biomassa, struktur penyusun

cangkang kelapa sawit yaitu Hemiselulosa 22,7% , Lignin 50,7% dan Selulosa sebesar 20,8% (Ningrum 2011).

1. Selulosa

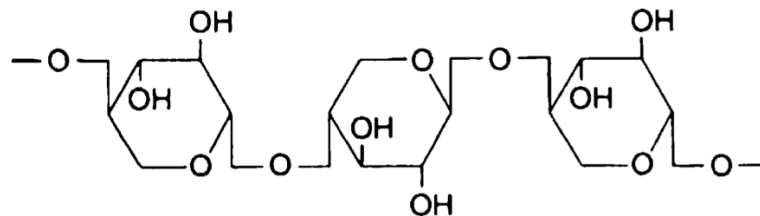
Selulosa atau dalam fomula dasar ($C_6H_{10}O_5$) merupakan senyawa ikatan polimer dengan derajat polmerisasi tinggi sebesar -10.000 dan besar molekul seberat 500.000. Struktur kristal pada ribuan unit sebagai pembentuk molekul Glukosa yang mana komposisi Glukosa yang mana menciptakan 6 jenis Karbon atau *Hexose sugars*. Komposisi yang dominan pada cangkang dimana 40% dari berat kondisi kering dan dapat terkondesasi di antara temperatur 275°C sampai 350°C (Basu, 2010).



Gambar 2.2 Struktur Molekul Selulosa (Basu, 2010).

2. Hemiselulosa

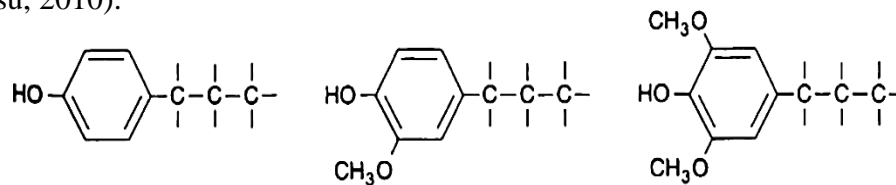
Hemiselulosa adalah polisakarida yang tersusun dari ribuan monosakarida menggunakan jaringan glikosidik. Pada biomassa gas yang dihasilkan oleh hemiselulosa termasuk dalam kategori gas yang tidak stabil dimana cenderung menghasilkan gas dan tar. Hemiselulosa merupakan *Polimer Linear Xilosa* jika dihidrolisis akan menghasilkan 2 senyawa Metan dan Karbon Dioksida yang disebut biogas (Yonathan, 2013). Tempertatur dekomposisi termal pada Hemiselulosa yaitu antara 150°C sampai 350°C dimana lebih cepat dibandingkang dengan temperatur dekomposisi Lignin dan Selulosa (Basu, 2010).



Gambar 2.3 Molekul Struktur Hemiselulosa ,Xylan (Basu, 2010).

3. Lignin

Lignin merupakan polimer kompleks dengan struktur dari monomer metoksifenil propana (*Fenil Propana*). berfungsi sebagai pengikat sel terletak pada lamela dan berbentuk senyawa non kristalin (Danarto, 2010). Struktur Lignin tidak dapat jelaskan dalam bentuk struktur, dan dapat jelaskan melalui dalam bentuk proses pengikatan. Hasil pirolisis pada Lignin cenderung membentuk tar mengandung senyawa Fenol. Temperatur dekomposisi Lignin yaitu pada 250°C sampai dengan 500°C (Basu, 2010).



Gambar 2.4 Struktur Unit Lignin (Basu, 2010)

2.2.2 Plastik




Pemanfaatan plastik dalam kehidupan sehari-hari telah menjadikan plastik sebagai kebutuhan utama bagi manusia. Sifatnya yang sederhana, kuat, elastis dan ringan menjadi rujukan produksi Plastik meningkat setiap tahun. 65 ton sampah Plastik menjadi masalah yang rigid dan pemanfaatan sampah jenis Plastik di Indonesia. Jenis plastik yang digunakan oleh masyarakat umum adalah jenis Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan HDPE (*High Density Polyethylene*) dimana kedua jenis Plastik tersebut merupakan jenis Plastik *Polietilene*. *Polietilene* merupakan termoplastik dimana kandungan Polimer memiliki rantai panjang monomer Etilena. Karakteristik sifat plastik yang bervariasi, serta proses penguraian bahan plastik berlangsung sangat lambat, sehingga aspek daur ulang dinilai perlu menjadi terobosan alternatif baru dibidang energi terbarukan.





Senyawa Polimer pada plastik merupakan bagian dari proses pembentukan dari minyak bumi. Naphta merupakan komponen penyusun utama pada senyawa polimer adalah Karbon dan *Hydrogen*. Dekomposisi plastik terjadi pada temperatur 300°C sampai dengan 400°C. Proses dekomposisi plastik tergantung tingkat kekakuan dan

elastisitas plastik. Berbagai jenis plastik yang beredar dimasyarakat sesuai penggunaannya (Santoso ,2010). Plastik dapat digolongkan menjadi 2 yaitu Plastik yang dapat dibentuk kembali dengan cara dipanaskan untuk dicairkan dan didinginkan untuk menjadi bentuk padat yang disebut *termoplastic*. Sedangkan jenis plastik pada yang tidak dapat di bentuk kembali adalah plastik *thermosetting* (Andreyan, 2017).

Flash point plastik yaitu pada temperatur 27°C masih sangat jauh dibanding solar dengan nilai flash point 50°C. Molekul besar (makromolekul) pada plastik dalam proses polimerisasi menggabungkan molekul sederhana sehingga terbentuk polimer. Berdasarkan karakteristik sifat dan kegunaanya jenis-jenis plastik memiliki kode masing-masing untuk identifikasi jenis plastik yang digunakan. Dimana kode digunakan sebagai batas sirkulasi atau batas daur ataupun batas penggunaan Plastik dapat dilihat pada Tabel 2.2 tentang karakteristik plastik.

Tabel 2.2 Karakteristik Plastik (Pareira, 2009)

Kode Identifikasi	Jenis	Penggunaan
	PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Botol minuman ringan, botol detergen, plastik bening untuk kemasan, serat untuk bahan jaket
	HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Kotak kompos, botol detergen, kerat, kotak sampah, pipa
	UPVC (<i>UnPlastikised polyvinylchloride</i>)	Botol juice, kotak pupuk, pipa saluran, Selang kebun, sol sepatu, kantong darah dan tabung.

Kode Identifikasi	Jenis	Penggunaan
	LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Kotak ice cream, kantong sampah, lembar Plastik hitam
	PP (<i>Polypropylene</i>)	Kotak ice cream, kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan.
	PS (<i>Polystyrene</i>)	Kotak yoghurt, Plastik meja, Kristal imitasi”glass ware”
	(O) Other, jenis lainnya	Sikat gigi, botol bayi, suku cadang bayi, alat elektronik computer.

Dekomposisi pada plastik merupakan batasan temperatur perubahan fase dari padat ke gas. Mekanisme dekomposisi dimana titik lebur plastik meningkat diatas temperatur transisi pada struktur plastik terjadi perubahan sifat fisik. Energi thermal di atas temperatur lebur lebih tinggi dibandingkan energi pengikat rantai karbon. Proses dekomposisi polimer pada plastik secara umum terjadi pada suhu 1,5 diatas temperatur transisi dapat dilihat pada tabel 2.3 (Budiyantoro, 2010).

Plastik sebagai suplai karbon dan hidrogen dimana temperatur mempengaruhi proses dekomposisi. Jenis-jenis plastik memiliki temperatur dekomposisinya masing-masing tergantung pada kepadatan tiap jenis plastik.

Tabel. 2.3 Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik (Budiyantoro, 2010)

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

Senyawa pada bahan bakar cair plastik selain Karbon dan Hidrogen adalah Asam Borat, Aseton dan Asetat dimana persentase tertinggi pada senyawa Aseton sebesar 64%. Senyawa kandungan plastik dapat dianalisis pada pengujian Chromatogram dengan fase cair bahan bakar plastik dari pirolisi (Mustofa K. 2014).

2.2.3 Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

LDPE (*Low Density Polyethylene*) merupakan jenis Plastik termoplastik berbahan dasar minyak bumi. Plastik LDPE pertama kali diproduksi oleh ICI atau *Imperial Chemical Industry* dimana menggunakan metode press dengan tekanan an tinggi dan polimerisasi perubahan dasar bebas. Masuk dalam kategori jenis plastik termosplastik, Plastik LDPE dapat didaur ulang sebanyak 4 kali dengan nilai densitas

0,91-0,94 g/cm³. Sifat tidak aktif pada temperatur kamar, dan dapat bertahan pada temperatur 90 °C dengan cepat sehingga gaya antar molekul rendah dibandingkan HDPE. Plastik LDPE terhadap ketahanan pada bahan kimia yaitu :

1. Kerusakan kecil dari senyawa Keton, Aldehida dan minyak nabati.
2. Kerusakan tinggi pada hidrokarbon terhalogenisasi.
3. Tidak terjadi kerusakan dari Asam, Basa, Ester dan Alkohol.
4. Kerusakan menengah dari Hidrokarbon Alifatik, Oksidator dan Aromatic.

Struktur penyusun kimia pada plastik LDPE adalah Karbon, *Hydrogen*, Oksigen, Nitrogen dan Belerang. Karakteristik plastik LDPE pada umumnya bersifat tipis, mudah terbakar dan ringan.

2.2.4 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia dengan bahan organik ataupun bahan non organik, pada temperatur termal tinggi dengan terbatasnya oksigen dan oksidator yang tidak memungkinkan gasifikasi pada tingkat paling tinggi. Dekomposisi juga sering disebut proses devolatilisasi pada proses pirolisis. Pirolisis tidak lepas dari pengaruh temperatur, pirolisis dapat terjadi pada temperatur relatif rendah yaitu 300°C sampai 650°C dibandingkan proses gasifikasi pada temperatur 800°C sampai 1000°C. Produk utama pada proses pirolisis adalah minyak, gas dan arang yang mana terbentuk dikarenakan pecahnya molekul hidrokarbon besar menjadi molekul yang sederhana dan relative kecil (Basu ,2010). Produk arang dapat digunakan menjadi bahan bakar maupun karbon aktif, sedangkan minyak atau *Pyrolytic-Oil* dapat dimanfaatkan untuk campuran bahan bakar ataupun zat adiktif secara langsung dan dapat langsung dibakar. Produk gas juga memiliki senyawa yang tidak dapat terkondesasi yaitu karbon dioksida, karbon monoksida dan metana (Santoso, 2010).

Jenis pirolisis dapat diklasifikasikan berdasarkan laju pemanasan pirolisis dibagi 2 yaitu pirolisis lambat dan cepat. Pirolisis lambat merupakan lama waktu yang digunakan untuk pemanasan bahan bakar lebih lama dibandingkan waktu reaksi pirolisis dan sebaliknya untuk pirolisis cepat. Pada produksi gas terbagi 2 jenis yaitu

flash dan ultra rapid pada pirolisis cepat. Jenis pirolisis karbonisasi waktu pemanasan 24 jam dengan suhu 400°C menghasilkan arang sedangkan pirolisis konvensional waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan 5-30 menit dengan temperatur 600°C menghasilkan minyak, gas dan arang pada pirolisis lambat. *Ultra rapid* merupakan jenis pirolisis cepat dimana waktu pemanasan bahan 0,5 detik laju pemanasan sangat cepat menggunakan temperatur 1000°C menghasilkan zat kimia dan gas (Basu, 2010).

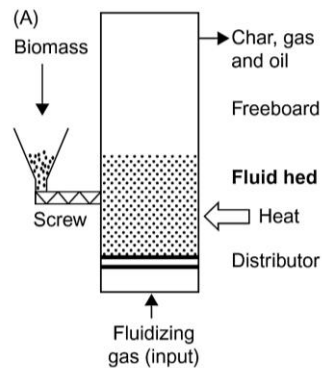
2.2.5 Tipe Reaktor Pirolisis

Reaktor merupakan bejana dimana berlangsungnya reaksi kimia dan merupakan input produk. Perancangan reaktor tidak lepas dari efisiensi kinerja reaktor dan daya tamping reaktor. Berbagai jenis reaktor pada proses pirolisis menjadi pertimbangan dalam efisiensi pada tiap-tiap proses pirolisis.

Pirolisis modern lebih terfokus pada hasil produk gas dan *pyrolytic oil* dan pengembangan pada proses selanjutnya. Tiap reaktor memiliki kelebihan dan klasifikasi masing-masing. Kontak gas-solid juga menjadi klasifikasi jenis reaktor. reaktor pada pirolisis dibagi berdasarkan bentuk dan penempatan reaktor, berikut ini beberapa jenis reaktor yang umum digunakan :

1. *Bubbling Fluidized Bed Pyrolyzer.*

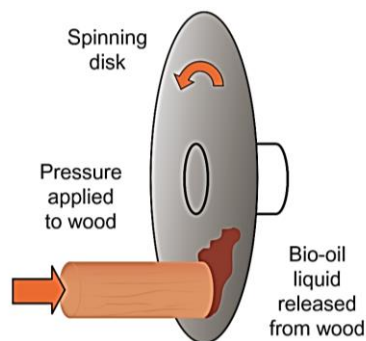
Bubbling Fluidized Bed merupakan salah satu jenis reaktor pada pirolisis yang mana bahan utama dimasukan pada lapisan pasir yang panas atauoun bahan solid lainnya. Bahan utama dihancurkan dengan ukuran 2-6 mm. pada bagian bawah difluidasi dengan gas inert menyebabkan pasir layaknya berbuih. Arang, gas dan minyak keluar secara bersamaan dengan bantuan gas inert. Transfer termal pada jenis reaktor ini bergantung pada pasir panas atau bahan solid lainnya yang mana temperatur dapat dikontrol (Basu, 2013).



Gambar 2.5 *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2013)

2. *Ablative Pyrolyzer*

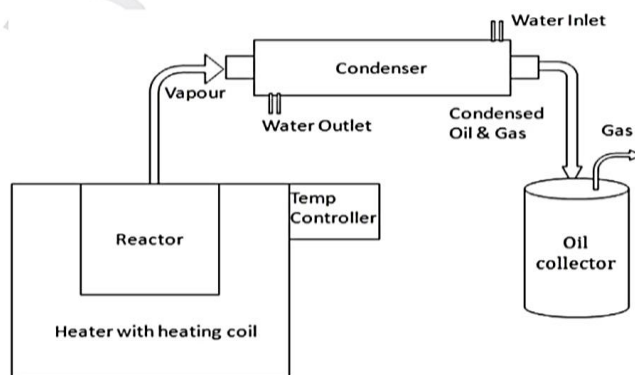
Ablative Pyrolyzer merupakan jenis reaktor dimana pada prosesnya melibatkan tekanan tinggi. Tekanan tinggi diberikan pada biomassa dan dinding reaktor dengan temperatur tinggi, sehingga transfer termal dari dinding reaktor ke biomassa terjadi tanpa hambatan. Tekanan antara biomassa dan dinding dibuat dengan gaya sentrifugal dimana pelat panas bergerak berputar. *Pyrolytic-Oil* didapatkan sebanyak 80% dimana perpindahan panas yang tinggi dan waktu gas yang relative cepat (Basu, 2013).



Gambar 2.6 *Ablative Pyrolyzer* (Basu, 2013).

3. *Fixed-Bed*

Fixed-Bed merupakan jenis pyrolyzer tertua yang masih dipakai. *Fixed-bed* merupakan jenis reaktor yang mudah dan sederhana yang mana semua bahan dimasukan dalam satu wadah yang sama dan pemanasan berasal dari komponen eksternal dari dinding reaktor seperti *heater*. Desain reaktor pada *fixed-bed*, oksigen dengan jumlah terbatas digunakan untuk pemanfaatan mengurangi gas produk dengan efektif. Produk dari pirolisis keluar melalui jalur kondensasi dan arang tetap berada pada reaktor.



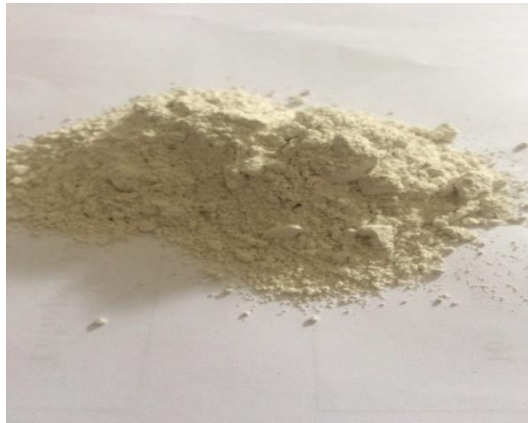
Gambar 2.7 *fixed-bed* (Senthilkumar, 2015).

2.2.6 Katalis CaO

Katalis merupakan suatu zat untuk mempercepat laju reaksi pada temperatur tertentu, tanpa mengalami perubahan. Katalis berfungsi sebagai pendukung percepatan reaksi namun bukan berperan sebagai pereaksi dan katalis membantu penggunaan energi dalam reaksi. Katalis juga berperan pada pembentukan formasi Hidrokarbon juga dapat menurunkan waktu reaksi dan memperbaiki kuantitas produk.

CaO atau Kalsium Oksida merupakan salah satu jenis katalis alam yang mana mudah didapatkan dan proses yang ramah lingkungan. Kalsium oksida dapat ditemukan pada limbah berbagai jenis cangkang dan juga tulang, seperti cangkang kerang, dan telur. Kandungan CaO pada jenis cangkang telur, cangkang kerang memproduksi katalis bersifat heterogen digunakan pada reaksi senyawa kimia. Melimpahnya kuantitas cangkang telur dan cangkang kerang hasil industri rumah

tangga menjadikan potensi limbah sebagai bahan baku pembentukan CaO (Santoso, 2013).



Gambar 2.8 Katalis CaO

Peran kalsium oksida (CaO) pada penggunaan katalis sebagai pengurang senyawa asam, membentuk senyawa karbon kemudian ditingkatkan menjadi ikatan rangkap karbon yang panjang. Proses pemansasan bahan sampai temperatur diatas 825°C , proses ini disebut *calcination* atau *lime-burning*, yang mana berfungsi sebagai pemisah CO_2 dari senyawa. Struktur Kalsium Oksida bersifat basa heterogen memiliki keunggulan ramah lingkungan dan tidak menyebabkan korosi.

2.2.6 Katalis Zeolit

Zeolit alam merupakan zeolite yang tersedia langsung di alam dan senyawa alam kompleks berasal dari bebatuan dimana proses kimia dan fisika terjadi aktivitas di alam. Proses pembentukan Zeolit yaitu dimana berasal dari aktivitas ledakan gunung berapi menghasilkan vulkanik, batuan metamorfosa, sedimen kemudian terjadi proses pelapukan karena temperatur lingkungan panas dan dingin. Zeolit alam dibagi dalam 2 jenis yaitu zeolit pada bagian celah-celah bebatuan dan zeolit pada bebatuan (Lestari, 2010).

Zeolit alam merupakan bebatuan mineral yang banyak namun distribusi klimoptilolit, mordeneit, chabazit, dan phillipsit tidak merata secara sempurna. Kandungan Na, K, Mg, Fe, dan Ca menjadi kekurangan zeolite yang menyebabkan

aktivitas zeolit menjadi kotor dan terhambat. Zeolit merupakan Kristal silika alumina yang tersusun oleh 3 komponen yaitu air, alumina silika dan kation yang dapat dipertukarkan. Pada bebatuan zeolit ditemukan unit-unit tetrahedral AlO_4^{2-} dan SiO_4^- pada kerangka dasar struktur zeolit. Kelebihan zeolit memiliki tingkat keasaman yang termodifikasi dan memiliki luas permukaan. Pengaruh jumlah zeolite pada pirolisis dengan reaktor berbahan stainless steel mempengaruhi kandungan senyawa aromatis (Sa'diyah, 2015).



Gambar 2.9 Zeolit Alam

2.2.7 Faktor Berpengaruh pada Pirolisis.

1. Waktu reaksi

Waktu reaksi berhubungan dengan lamanya proses dan bahan baku pada reaktor. Semakin lama bahan baku berada dalam reaktor, maka konversi biomassa dari gas ke cair akan mendekati sempurna. Faktor ini mempengaruhi proses karbonisasi dan dekomposisi. Waktu reaksi bergantung pada jenis biomassa yang mana mempunyai waktu tinggal masing-masing (Andreyan, 2017).

2. Temperatur

Pada proses pirolisis, partikel bahan bakar dipanaskan pada laju suhu yang ditentukan dari minimum ke maksimum yang disebut temperatur pirolisis. Temperatur pirolisis dapat mempengaruhi kandungan senyawa dan hasil produk. Pelepasan berbagai gas produk berubah sesuai dengan nilai kalor pada gas. Jumlah arang yang

dihasilakan bergantung pada temperatur pirolisis. Temperatur rendah menghasilkan arang yang lebih banyak dan sebaliknya. Kandungan karbon pada karbon tetap karena nilai karbon yang tinggi, dalam arang meningkat sementara kandungan volatile menurun (Basu, 2013).

3. Ukuran partikel

Ukuran, komposisi, bentuk dan struktur fisik dari bahan utama mempengaruhi produk pirolisis dalam laju pemanasan. Struktur fisik yang lebih halus menghasilkan daya yang digunakan untuk mengkondensasi gas akan semakin sedikit dan juga menghasilkan cairan yang mengandung partikel besar. Resistensi yang tinggi menyebabkan produk pirolisis primer (Basu, 2013).

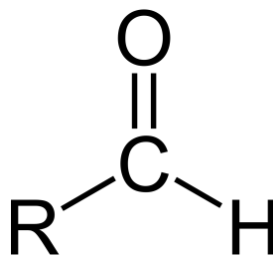
2.2.8 Golongan Senyawa

2.2.8.1 Golongan Oksigenat

Golongan oksigenat adalah senyawa organik cair yang mengandung atom oksigen pada struktur kimianya. Senyawa utama penyusun oksigenat terdiri dari karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H). Oksigenat berperan dalam penambahan oksigen pada proses pembakaran dan menambah angka oktan pada bio-oil. Berikut ini adalah senyawa oksigenat pada umumnya:

a. Aldehid

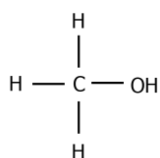
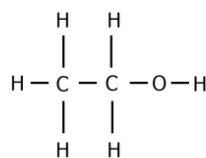
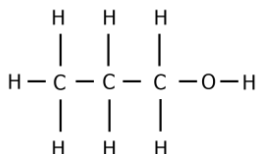
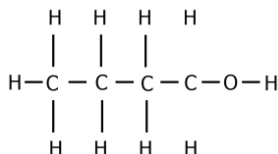
Aldehid merupakan senyawa organik yang memiliki gugus karbonil terminal. Gugus ini berfungsi dalam atom karbon sebagai pengikat atom hidrogen dan berikatan rangkap dengan atom oksigen, berikut gambar aldehid dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Struktur Aldehid.

b. Alkohol

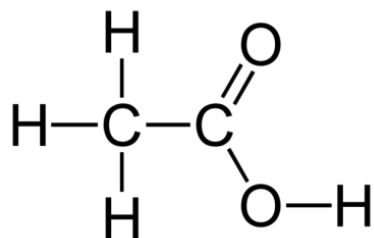
Alkohol adalah kelompok senyawa dimana kandungan gugus hidroksil (-OH) sebanyak satu atau lebih pada Alkana. Reaksi alkohol menciptakan produk senyawa kandungan ikatan R-O dan juga dapat menciptakan senyawa kandungan O-H yang dapat dilihat pada Gambar 2.11.

1. Methanol, CH₃OH2. Ethanol, C₂H₅OH3. Propanol, C₃H₇OH4. Butanol, C₄H₉OH

Gambar 2.11. Contoh senyawa Alkohol.

c. Asam

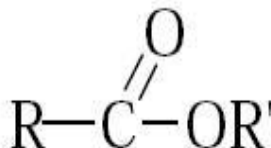
Asam merupakan senyawa kimia yang dapat dilarutkan dalam air dapat menciptakan ion H⁺. Gugus pada asam merupakan senyawa OH yang mana senyawa Hidrogen menjadi ion H⁺, berikut struktur asam pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Struktur Asam.

d. Ester

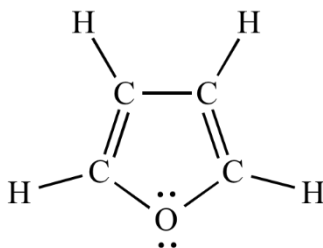
Ester merupakan senyawa turunan dari asam karboksilat (organik atau anorganik) dengan mengganti senyawa *hydrogen* pada gugus hidroksil. Struktur senyawa ester dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Struktur Ester.

e. Furan

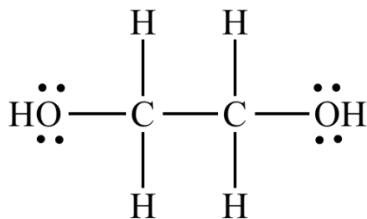
Furan adalah senyawa kimia heterosiklik yang mana dari penurunan dari proses dekomposisi termal dari bahan dengan kandungan Pentosa. Struktur senyawa furan dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Struktur Furan.

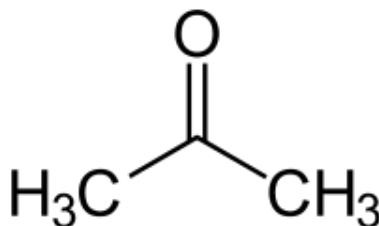
f. *Glycol*

Glycol merupakan senyawa kimia organik milik keluarga alkohol. Dalam molekul terdapat 2 komponen gugus hidroksil (-OH) yang melekat pada atom Karbon yang berbeda, struktur *Glycol* dapat dilihat pada Gambar 2.15.

Gambar 2.15. Struktur *Ethylene Glycol*.

g. Keton

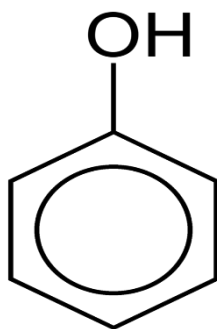
Keton merupakan gugus fungsional karbonil mengikat rangkap oksigen (O=C). penamaan keton dengan tatanama IUPAC umumnya dilakukan dengan mengganti sufiks -a pada 24entos menjadi -on, struktur senyawa keton dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Struktur Keton (Aseton).

h. Fenol

Fenol atau benzenol merupakan zat kristal yang tidak berbau dan berwarna. Fenol memiliki sifat cenderung asam yang mana melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksil aromatik. Berikut struktur senyawa Fenol pada Gambar 2.17.



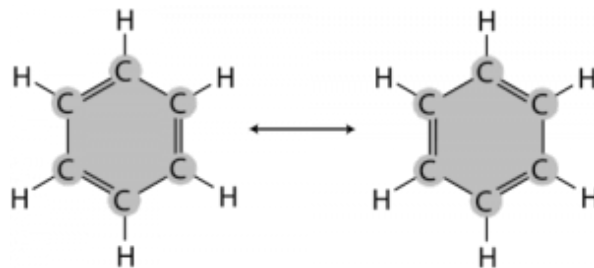
Gambar 2.17. Struktur Fenol.

2.2.8.2 Golongan Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan golongan senyawa sederhana terdiri dari unsur karbon (C) dan hydrogen (H). Penggolongan hidrokarbon dilihat dari bentuk rantai karbonnya. Berikut adalah jenis senyawa yang masuk dalam golongan hidrokarbon:

a. Aromatik (*Aromatic*)

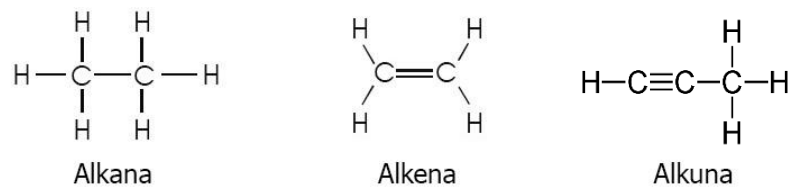
Hidrokarbon aromatik atau disebut arena merupakan golongan hidrokarbon dengan ikatan tunggal dan ganda pada atom karbon. Hidrokarbon aromatik dibagi menjadi 2 yaitu *polisiklik* dan *monosiklik*. Berikut contoh senyawa aromatik dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Senyawa Aromatik Benzena.

b. Alifatik

Senyawa alifatik merupakan senyawa kimia kelas organik yang mana tidak berhubungan dengan bentuk cincin. Atom karbon pada senyawa alifatik saling mengikat dalam bentuk lurus maupun rangkap ganda dan tiga. Contoh dari senyawa alifatik adalah Propana, Propena, dan Propuna, berikut contoh dapat dilihat pada Gambar 2.19.

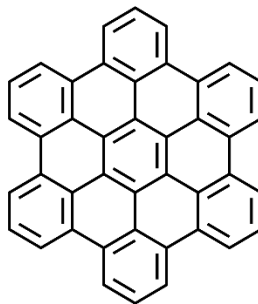


Gambar 2.19. Contoh Senyawa Alifatik.

c. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH)

Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) merupakan molekul non polar dan lipofilik tidak ada endapan tar. PAH dapat ditemukan di alam sebagai polutan hasil dari

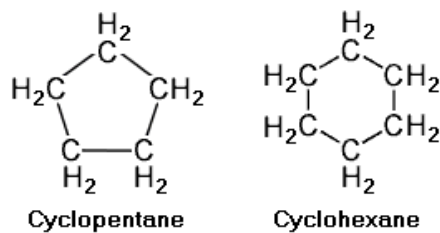
pembakaran bahan-bahan organik, baik berupa partikel padat atau gas (Sihabudin, 2017). Beberapa contoh struktur PAH dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Contoh *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH)

d. Siklik (*Cyclic*)

Senyawa siklik merupakan senyawa yang mana rangkaian atom yang terhubung membentuk cincin terdiri dari karbon dan hidrokarbon. Bagian besar senyawa siklik terdiri dari organik yang mengandung karbon. Contoh senyawa siklik dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Contoh Senyawa Siklik.