

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Endang dkk (2016) telah melakukan penelitian tentang pengolahan sampah plastik PP (*PolyPropylene*) dan plastik LDPE (*Low Density PolyEthylene*) menjadi bahan bakar. Sampah plastik PP dan LDPE dilakukan pencucian, pengeringan, dan pencacahan. Kemudian Jenis plastik PP dan LDPE dimasukkan ke dalam reaktor, masing-masing sebanyak 500 gram dengan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C, selama 60 menit. Hasil penelitian diperoleh minyak tertinggi dari pirolisis sampah plastik PP pada suhu 400°C sebesar 50,08%, sedangkan sampah plastik LDPE pada suhu 300°C sebesar 46,02%. Hasil densitas minyak pirolisis PP pada suhu 300°C dan 400°C mendekati densitas minyak tanah, sedangkan pada suhu 250°C dan 350°C mendekati densitas solar. Sementara minyak hasil pirolisis LDPE pada suhu 300°C mendekati densitas minyak tanah, sedangkan pada suhu 250°C, 350°C, dan 400°C mendekati densitas solar. Perbedaan densitas minyak pirolisis sampah PP dan LDPE ini disebabkan oleh bahan bakunya. Sampah plastik PP memiliki densitas sebesar 0,855 gr/ml, sedangkan pada sampah plastik LDPE memiliki densitas sebesar 0,910 gr/ml hingga 0,940 gr/ml.

Mustofa dan Zainuri (2014) melakukan penelitian tentang pirolisis sampah plastik hingga suhu 900°C. Sebelum proses pirolisis, sampah plastik dicacah dan dimasukkan dalam konverter dan dipanaskan dengan panas suhu 900°C, kemudian uap yang dihasilkan dalam proses pirolisis dikondensasi melalui kondensor. Bahan bakar minyak yang dihasilkan pada suhu 900°C tersebut dilakukan pengujian nilai kalor dengan menggunakan Bom-kalorimeter dan pengujian *Gas Chromatografi Mass Spectrometry* (GC-MS). Berdasarkan hasil pengujian, nilai kalor yang dihasilkan sebesar 46,848 J/g pada suhu 900°C, lebih besar dari 41,870 J/g pada suhu 425°C. Pada pengujian GC-MS bahan bakar yang dihasilkan menunjukkan bahwa kadar senyawa yang berpotensi bersifat karsiogenik (asam borat dan siklopentanon) berkurang presentasinya.

Mandala dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu terhadap rendemen dan nilai kalor minyak hasil pirolisis sampah plastik. Pada penelitian ini digunakan bahan baku sebanyak 10 kg label kemasan air mineral untuk satu kali proses pirolisis, sedangkan bahan bakar yang digunakan ranting, daun, kayu bakar sebanyak 10 kg. Selanjutnya bahan baku dimasukkan ke dalam tabung pirolisis dengan variasi suhu 300°C, 350°C, dan 450°C selama 90 menit. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini semakin tinggi suhu reaksi, maka hasil rendemen minyak yang dihasilkan semakin besar, sedangkan hasil rendemen arang semakin kecil. Pada nilai kalor semakin tinggi suhu reaksi hasil yang diperoleh juga semakin besar yaitu 10,292 kal/g pada suhu 400°C dibanding dengan 9,254 kal/g pada suhu 200°C.

Wardana dkk (2016) telah melakukan penelitian tentang pirolisis lambat campuran cangkang sawit dan plastik berkatalis zeolit alam. Pada tahap pertama cangkang sawit dicampur dengan kantong plastik yang sudah dipotong dengan ukuran 3-7 cm dalam persentase 0%, 10%, 20% dan 30%. Massa uji sampel pencampuran cangkang sawit dan plastik sebesar 400g dimasukkan dalam reaktor tipe fixed bed. Gas nitrogen dimasukkan ke dalam reaktor dengan laju 2 liter/menit. Temperatur pirolisis diatur pada suhu 400°C, 450°C, dan 500°C. Pemanas pirolisis bersumber dari pemanas listrik yang ditempatkan mengelilingi reaktor dengan daya 5000 watt. Hasil pirolisis yang diperoleh dipengaruhi oleh temperatur akhir pirolisis. Semakin besar temperatur akhir pirolisis dari 400°C hingga 500°C sisa arang yang terbentuk semakin rendah seiring dengan penurunan produk cair dan peningkatan produk gas. Penambahan katalis juga berdampak pada turunya golongan *acid* dan naiknya golongan *alkane* dan *alkene*.

Sa'diyah dkk (2013) dalam penelitiannya tentang pengaruh suhu pada proses pirolisis katalitik limbah plastik polipropilen. Pada penelitian ini digunakan reaktor jenis semi batch stainless steel, jenis plastik yang digunakan *PolyPropylene* (PP) dan zeolit sebagai katalis. Kemudian sampel plastik PP sebanyak 50 gram ditambah katalis 5 gram dimasukkan kedalam reaktor yang dialiri nitrogen. Selanjutnya sampel dipanaskan sampai suhu 400°C, 450°C, dan 500°C dengan waktu tinggal didalam reaktor selama 30 menit. Dari hasil

percobaan maka produk yang kandungannya mendekati dengan mutu bensin adalah pada suhu 450°C dengan komposisi hidrokarbon fraksi bensin C₅ - C₉ yang dihasilkan adalah 9,46% cycloparaffin, 3,14% olefin, dan 58,44% aromatik. Sedangkan untuk komposisi hidrokarbon >C₉ adalah 27,33% aromatik dan 1,64% paraffin.

Yang dkk (2016) telah melakukan penelitian tentang pirolisis cepat LDPE dan biomassa untuk produk bio-oil. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis biomassa yaitu tangkai bunga matahari, kayu cedar, dan batang fallopia japonica yang akan dicampur dengan LDPE. Sebelum melakukan proses pirolisis biomassa dikeringkan selama 24 jam pada suhu 110°C sedangkan LDPE dikeringkan selama 24 jam pada suhu 80°C. Selanjutnya bahan baku dimasukkan kedalam tabung pirolisis dengan suhu 500°C, 550°C, dan 600°C selama 10 menit. Hasil yang diperoleh dalam penelitian bahwa senyawa organik di bio-oil diklarifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu hidrokarbon dan oksigenat. Hasil menunjukkan pada campuran cedar dan LDPE bahwa dengan meningkatnya suhu dari 500°C - 600°C hasil hidrokarbon mengalami peningkatan yaitu sebesar 41,09%, 45,57%, dan 50,69% sedangkan hasil oksigenat mengalami penurunan yaitu sebesar 14,19%, 14,07%, dan 12,68%.

Gaurav dkk (2014) meneliti tentang konversi sampah plastik LDPE menjadi bahan bakar cair dengan degradasi thermal. Limbah plastik yang dikumpulkan dibersihkan dengan sabun dan air, setelah itu plastik dipotong dengan ukuran 3 - 5 mm untuk dimasukkan kedalam tabung reaktor dengan suhu pirolisis 300°C - 500°C tanpa oksigen. Pemanasan dimulai ketika suhu mencapai 100°C plastik akan mulai meleleh menjadi cair. Pada saat suhu mencapai 270°C cairan mulai berubah menjadi uap dan mengalir melewati kondensor. Hasil dari penelitian ini menghasilkan 90% minyak dan 4% abu. Minyak yang dihasilkan harus dipisahkan zat pengotor dan memiliki nilai densitas sebesar 702,5 kg/m³.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Cangkang Sawit

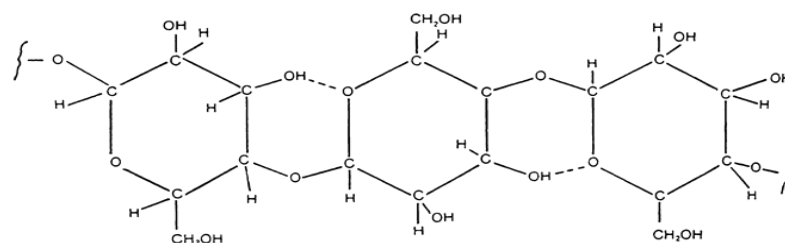
Kelapa sawit adalah salah satu komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Selain produksi minyak kelapa sawit yang tinggi, produk limbah pabrik kelapa sawit juga tinggi salah satunya cangkang sawit. Dengan kondisi yang seperti itu maka banyak manfaat yang dapat diperoleh dari pemanfaatan cangkang sawit tersebut (Siregar, 2013).

Cangkang sawit adalah bagian dari buah kelapa yang berwarna hitam kecoklatan berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi serabut. Cangkang kelapa sawit yang dihasilkan dari pemisahan kacang sawit dengan cangkangnya. Kacang sawit di proses lebih lanjut untuk menghasilkan minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil*) yang berharga. Cangkang biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan tandang kosong dan serabut sawit. Cangkang juga digunakan untuk pengerasan jalan di area perkebunan kelapa sawit. Ada juga upaya untuk mengkarbonisasi cangkang menjadi arang dan karbon aktif (Nur, 2014).

Biomassa mempunyai komposisi penyusun yang beraneka ragam. Komposisi utama yang terdapat dalam cangkang sawit yaitu Selulosa 20,8%, Hemiselulosa 22,7% dan Lignin 50,7% (Ningrum, 2011).

1. Selulosa

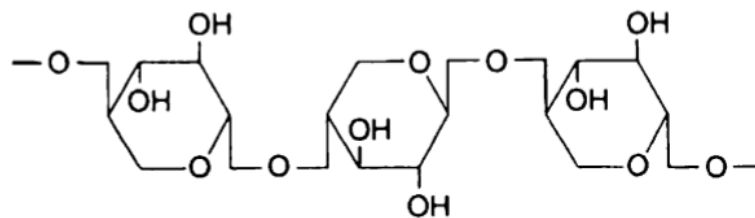
Selulosa ($C_6H_{10}O_5$) merupakan polisakarida yang tersusun dari molekul glukosa. Selulosa memiliki struktur kristal ribuan unit yang terdiri dari banyaknya molekul glukosa. Selulosa terdekomposisi pada temperatur $275^{\circ}C$ - $350^{\circ}C$ (Basu, 2010).



Gambar 2.1 Struktur Selulosa (Basu,2010)

2. Hemiselulosa

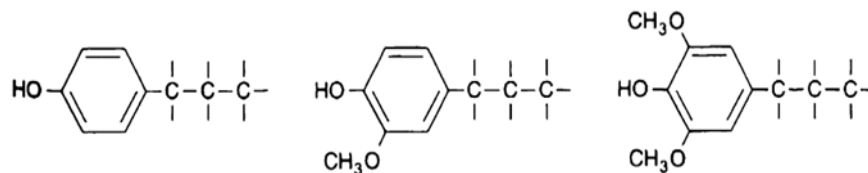
Hemiselulosa ($C_5H_8O_4$) merupakan polimer linier xilosa dengan struktur furanosa. Hemiselulosa merupakan komponen yang kurang stabil dalam biomassa dan cenderung menghasilkan lebih banyak gas dan tar daripada selulosa (Basu, 2010). Hemiselulosa mengalami dekomposisi termal cepat yang dimulai pada suhu yang lebih rendah daripada selulosa atau lignin. Hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur $150^{\circ}C-350^{\circ}C$ (Basu, 2010).



Gambar 2.2 Struktur Hemiselulosa (Basu, 2010)

3. Lignin

Lignin merupakan sebuah polimer kompleks yang mempunyai berat molekul tinggi dan tersusun atas unit-unit fenil propana. Senyawa-senyawa yang diperoleh dari pirolisis struktur dasar lignin berperan penting dalam memberikan aroma asap produk asapan. Tar yang dihasilkan darinya mengandung campuran fenolat salah satunya fenol. Lignin terdekomposisi pada temperatur $250^{\circ}C-500^{\circ}C$ (Basu, 2010).



Gambar 2.3 Struktur Lignin (Basu, 2010)

Karakteristik biomassa seperti, kadar air, densitas, ukuran partikel, bahan yang terkandung (C, H, O, N, dan S), bahan mudah menguap (volatil matter) dan kadar abu mempengaruhi kesesuaian biomassa sebagai bahan bakar (Omar, 2011). Karakteristik ini disebut analisis ultimate dan proximate.

Tabel 2.1. Karakteristik ultimate dan proximate cangkang sawit (Raju, 2016)

Analisis Ultimate	
C (%)	68,45
H (%)	9,52
O (%)	20,99
N (%)	0,20
S (%)	0,74
Analisis Proximate	
Kadar air (%)	3,87
Volatil matter (%)	69,54
Abu (%)	6,78
Karbon tetap (%)	19,81
Nilai kalor (MJ/kg)	19,15

2.2.2 Plastik

Plastik mempunyai peranan besar dalam kehidupan sehari-hari, plastik banyak digunakan sebagai bahan pengemas makanan maupun minuman karena sifatnya yang praktis, ringan, dan kuat. Plastik merupakan 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 mempunyai unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naptha, 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 (Kumar dkk, 2011).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *termoplastik* dan *termosetting*. *Termoplastik* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperature tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *termosaetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padatan, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.

Berdasarkan sifat dari 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 (lihat gambar 2.4 dan tabel 2.2).



Gambar 2.4 Nomor kode plastik (Kurniawan, 2012)

Tabel 2.2 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Kurniawan, 2012)

No Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (<i>PolyEthylene Terephthalate</i>)	Botol yang digunakan kemasan air mineral, jus botol, botol minyak goreng, botol obat, sambel, dan botol kosmetik.
2	HDPE (<i>High-Density PolyEthylene</i>)	Botol susu cair, jerigen pelumas, botol obat dan botol kosmetik.
3	V/PVC (<i>PolyVinyl Chloride</i>)	Mainan, pipa selang air, pipa bangunan, botol shampo, taplak meja dari plastik, dan botol sambal.
4	LDPE (<i>Low-Density PolyEthylene</i>)	Tutup plastik, kantong plastik, plastik pembungkus daging baku, dan macam plastik tipis lainnya.
5	PP (<i>PolyPropylene</i> atau <i>PolyPropene</i>)	Tutup botol dari plastik, mainan anak, cup plastik dan margarine.
6	PS (<i>PolyStyrene</i>)	Kotak CD, gelas plastik, makanan dari styrofoam, sendok dan garpu plastik, tempat makanan dan tempat makan plastik transparan.
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari nomor 1-6	Plastik kemasan, suku cadang mobil, komputer, alat-alat elektronik, komputer, botol susu bayi, sikat gigi, mainan bayi dan galon air minum.

2.2.3 Sifat Thermal Bahan Plastik

Pengetahuan tentang sifat thermal dari bahan berbagai jenis plastik sangat penting untuk proses daur ulang dan pembuatan plastik. Sifat-sifat thermal yang penting untuk dipelajari adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Titik lebur adalah temperatur dimana saat plastik mulai melunak dan meleleh berubah menjadi cair. Temperatur transisi adalah temperatur

dimana plastik mengalami perenggangan struktur dan terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari pencairan plastik. Jika suhu dinaikkan diatas titik lebur maka plastik akan mudah mengalir dan struktur plastik akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi dikarenakan energi thermal yang melampaui energi yang mengikat rantai karbon. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budiyantoro, 2010). Sifat thermal pada bahan plastik dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Temperatur transisi dan temperatur lebur bahan 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

2.2.4 Plastik LDPE

Plastik LDPE (*Low Density PolyEthylene*) adalah *termoplastik* yang terbuat dari minyak bumi. Plastik LDPE pertama kali diproduksi oleh Imperial Chemical Industri (ICI) pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal bebas. Plastik LDPE ini dapat didaur ulang, dan memiliki simbol daur ulang pada nomor 4. Plastik LDPE dicirikan dengan densitas antara 0,910-0,940 g/cm³ dan 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 dari HDPE (*High Density PolyEthylene*) sehingga gaya antar molekulnya rendah.

Ketahanan plastik LDPE terhadap bahan kimia diantaranya:

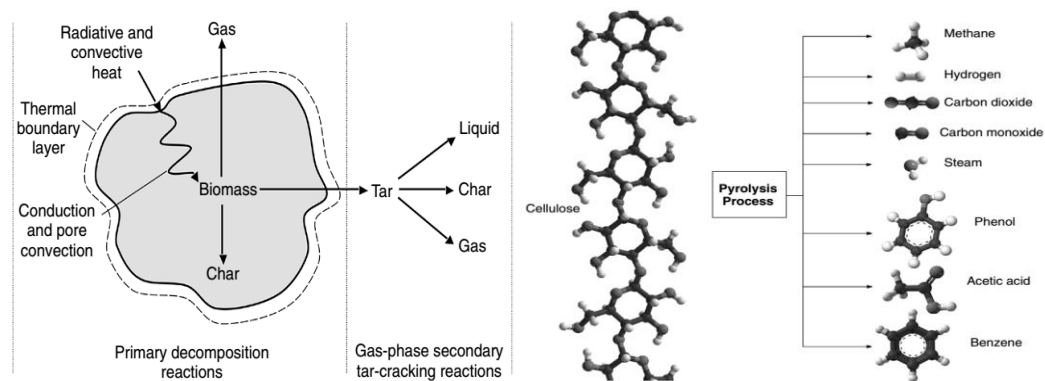
1. Tidak ada kerusakan dari asam, basa, alkohol, dan ester.
2. Kerusakan kecil dari keton, aldehida, dan minyak tumbuh-tumbuhan.
3. Kerusakan menengah dari hidrokarbon alifatik dan aromatik dan oksidator.
4. Kerusakan tinggi pada hidrokarbon terhalogenasi.

Tabel 2.4 Analisis Proximate dan Ultimate LDPE
(Haryono, 2016)

Analisis Ultimate	
C (%)	85,83
H (%)	14,38
O (%)	-
N (%)	0,16
S (%)	0,07
Analisis Proximate	
Kelembapan (%)	0,02
Volatil matter (%)	99,83
Abu (%)	0,15
Karbon tetap (%)	-
Nilai kalor (kj.kg ⁻¹)	46362

2.2.5 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia dari bahan organik (biomassa) pada kondisi suhu tinggi tanpa adanya oksigen untuk dijadikan produk yang berguna. Selama pirolisis, molekul kompleks hidrokarbon yang besar terpecah menjadi molekul yang relatif lebih kecil dan simpel dalam bentuk gas, cairan dan arang. Pirolisis tidak sama dengan proses gasifikasi yang melibatkan reaksi kimia dengan sebuah agen eksternal. Pirolisis biasanya berlangsung pada suhu yang relatif rendah dari 300°C - 650°C dibandingkan dengan 800°C-1000°C pada gasifikasi. Produk awal dari pirolisis terbuat dari gas-gas yang dapat dikondensasikan dan arang padat. Gas yang dapat terkondensasi selanjutnya berubah menjadi gas-gas yang tidak dapat terkondensasi (CO, CO₂, H₂, dan CH₄), cair, dan arang.



Gambar 2.5 Proses Pirolisis (Basu, 2010)

2.2.6 Produk Pirolisis

Pirolisis melibatkan molekul-molekul kompleks yang besar memecah menjadi beberapa molekul yang lebih kecil. Produk dari pemecahan molekul ini dibagi menjadi tiga jenis:

1. Padat (kebanyakan dalam bentuk arang atau karbon).
2. Cairan (tar, hidrokarbon yang lebih berat, dan air).
3. Gas (CO_2 , H_2O , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , dan lain-lain).

2.2.7 Jenis Pirolisis

Berdasarkan laju pemanasannya pirolisis dapat diklasifikasikan dalam pirolisis lambat dan cepat. Dikatakan lambat apabila waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan bakar ke temperature pirolisis lebih lama dibandingkan waktu reaksi pirolisis dan sebaliknya. Pada pirolisis lambat, waktu uap tinggal pada zona pirolisis berkisar beberapa menit atau lebih lama. Proses ini digunakan secara utama untuk produksi arang dan terbagi menjadi dua jenis: karbonisasi dan konveksional. Sedangkan dalam pirolisis cepat, waktu uap tinggal pada zona pirolisis berlangsung beberapa detik atau milidetik. Proses ini digunakan untuk produksi bio-oil dan gas, terbagi menjadi dua jenis: flash dan ultra-rapid (Basu, 2010). Berdasarkan produk utama yang dihasilkan jenis pirolisis dan karakteristiknya dapat dilihat pada tabel 2.5.

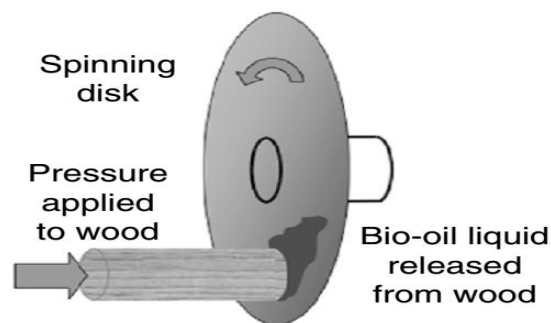
Tabel 2.5 Jenis pirolisis dan karakteristiknya (Basu, 2010)

Jenis Pirolisis	Waktu Tinggal	Laju pemanasan	Suhu (°C)	Produk
Karbonisasi	Harian	Sangat lambat	400	Arang
Konvensional	5-30 menit	Lambat	600	Minyak, gas, arang
Pirolisis cepat	< 2 detik	Sangat cepat	~500	Bio-Oil
Flash	< 1 detik	Cepat	<650	Bio-Oil, zat kimia, gas
Ultra-rapid	< 0,5 detik	Sangat cepat	~1000	Zat kimia, gas
Vakum pirolisis	2-30 detik	Medium	400	Bio-Oil
Hidropyrolysis	<10 detik	Cepat	<500	Bio-Oil
Methano pyrolysis	<10 detik	Cepat	>700	Zat kimia

2.2.8 Tipe Reaktor

1. Ablative Pyrolyzer

Ablative pyrolyzer adalah reaktor yang melibatkan tekanan tinggi antara partikel biomassa dan dinding reaktor pemanas. Hal ini memungkinkan perpindahan panas tanpa hambatan dari dinding ke biomassa yang menyebabkan produk cair dari biomassa meleleh saat ditekan dan biomassa cair menguap keluar meninggalkan area pirolisis.

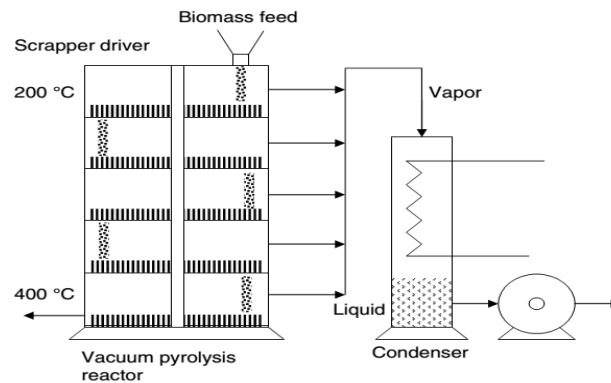


Gambar 2.6 Ablative Pyrolyzer (Basu, 2010)

2. Vacuum Pyrolyzer

Vacuum pyrolyzer adalah reaktor yang terdiri dari lempengan yang tersusun melingkar yang dipanaskan dengan beberapa tingkatan, tingkatan paling atas bersuhu 200°C, sedangkan tingkatan paling bawah bersuhu 400°C. Biomassa dimasukkan dibagian atas dan akan mengalami pengeringan selama biomassa

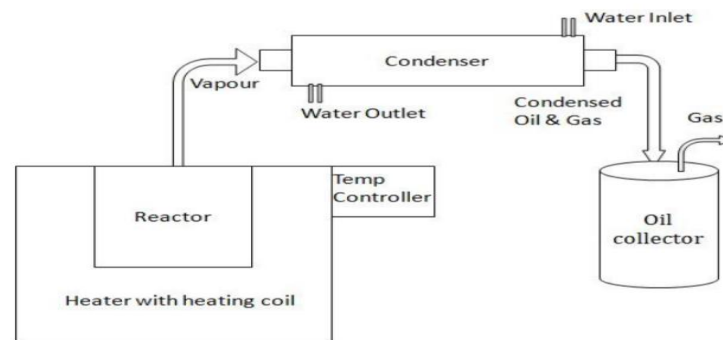
turun melewati lempengan. Sehingga arang tertinggal saat biomassa mencapai lapisan bawah. Meskipun laju pemanasan biomassa relatif lambat, waktu tinggal uap pada pirolisis ini singkat.



Gambar 2.7 *Vacuum Pyrolyzer* (Basu, 2010)

3. *Fixed bed*

Fixed bed jenis ini yang sudah lama dipakai. Panas untuk dekomposisi thermal biomassa berasal dari sumber luar. Produk yang dihasilkan keluar melalui reaktor sementara arang tetap berada di dalam reaktor. Dalam beberapa desain, gas tanpa oksigen digunakan untuk menghilangkan gas produk secara efektif dari reaktor.

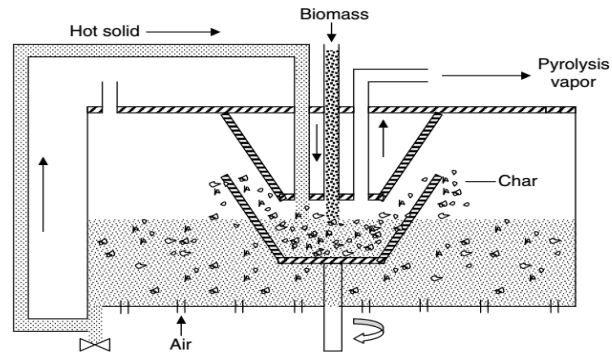


Gambar 2.8 *Fixed bed pyrolyzer* (Sentilkumar, 2015)

4. *Rotating-Cone Pyrolyzer*

Rotating-Cone Pyrolyzer adalah reaktor yang menggunakan media pasir sebagai pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa dibagian bawah wadah yang berputar. Karena pencampurannya yang sangat baik, biomassa mengalami pemanasan yang cepat. Gas produk yang mengandung bio-oil keluar

melalui tabung lain dan arang yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh akibat putaran dari wadah.



Gambar 2.9 *Rotating-Cone Pyrolyzer* (Basu, 2010)

2.2.9 Faktor yang Mempengaruhi Pirolisis

1. Temperatur

Temperatur pirolisis berada pada kisaran 300°C-650°C. Temperatur ini akan menentukan tingkat dekomposisi material sampah, waktu tinggal dalam reaktor, dan hasil pirolisis. Laju dekomposisi dan kerusakan struktur penyusun material meningkat dengan meningkatnya temperatur reaksi pirolisis (Brigeman, 2008). Akibatnya, terjadi peningkatan kehilangan massa dan proses karbonisasi material. Akan tetapi, jika temperatur reaksi terlalu tinggi melebihi temperatur pirolisis, tingkat dekomposisi akan sangat reaktif yang mengakibatkan komponen penyusun material akan banyak dikonversikan kedalam bentuk gas dan cair. Konsekuensinya, produk padatan hasil pirolisis menjadi berkurang dengan waktu tinggal dalam reaktor yang lebih singkat (Sridhar, 2007).

2. Waktu reaksi

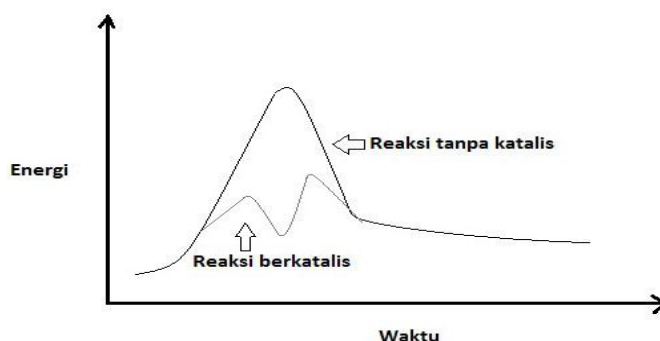
Waktu reaksi berkaitan dengan lamanya bahan baku dalam reaktor. Variabel ini akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi selama proses pirolisis berlangsung. Jika waktu tinggal yang cukup lama, maka proses pirolisis akan sempurna untuk mengkonversi bahan baku menjadi gas dan liquid. Lamanya waktu tinggal proses pirolisis tergantung jenis bahan baku yang digunakan dan setiap bahan baku mempunyai waktu tinggal yang proposional (Basu, 2010).

3. Kadar Air dalam Material Biomassa

Dalam proses pirolisis, kadar air memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap efisiensi proses pirolisis. Hal ini dikaitkan dengan kehilangan energi panas yang cukup besar untuk proses penguapan air sebelum proses pirolisis berlangsung dan akan membutuhkan waktu tinggal yang lama untuk mendapatkan proses pirolisis yang sempurna (Sadaka, 2009). Selain mengganggu kebutuhan termal untuk proses pirolisis, kadar air yang tinggi dalam material akan memerlukan beban pendinginan dan peralatan pemisah uap air yang terkondensasi serta kadar air yang tinggi dalam material organik selama proses pirolisis dapat mengalami reaksi kedua dengan gas dan padatan yang akan mengekstrak 28 fraksi yang dapat larut dalam air yang berakibat produk gas dan padatan jadi berkurang (Ciolkosz, 2011).

2.2.10 Katalis CaO

Katalis didefinisikan sebagai suatu substansi yang mengubah laju suatu reaksi tanpa terdapat suatu produk akhir. Walaupun menurut definisi katalis tidak berubah pada akhir reaksi, tetapi tidak berlaku anggapan bahwa katalis tidak mengawali jalannya reaksi selama reaksi berlangsung. Untuk itu katalis bisa difungsikan menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi berjalan lebih cepat dan dapat mempengaruhi laju reaksi akan tetapi zat tersebut tidak ikut bereaksi (tidak mengalami perubahan kimia pada akhir reaksi), karena itu katalis tidak memberikan energi ke dalam sistem (Mustofa, 2016).



Gambar 2.10 Diagram profil energi dari reaksi tanpa katalis dan dengan katalis (Mustofa, 2016)

Kalsium Oksida (CaO) merupakan salah satu katalis heterogen yang secara umum berbentuk padat, ramah lingkungan, dan tidak menimbulkan korosif. Dengan menggunakan CaO sebagai katalis secara signifikan dapat meningkatkan kandungan relatif senyawa molekul kecil dalam bio-oil (Lu dkk, 2010). Zhang dkk (2013) mengatakan bahwa penambahan CaO dapat memecahkan senyawa molekul besar oksigenat dari pirolisis menjadi senyawa molekul kecil karena memiliki kemampuan pecah yang kuat. Selain itu menurut Zhang dkk (2017) mengatakan bahwa penambahan sejumlah CaO nampaknya lebih mengoptimalkan hasil aromatik dan olefin.

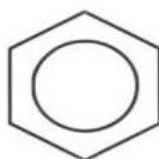
2.2.11 Golongan Senyawa

1. Golongan Hidrokarbon

Hidrokarbon adalah senyawa kimia yang terdiri dari unsur atom karbon (C) dan atom hidrogen (H), Pada golongan ini seluruh rantai atom C dan H saling berikatan, Dibawah ini adalah golongan yang termasuk dalam hidrokarbon :

a. Aromatik

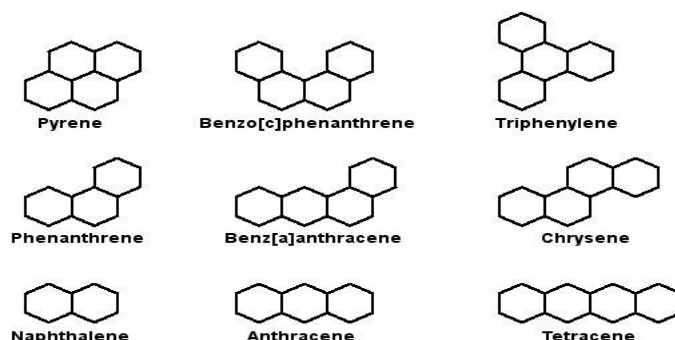
Senyawa aromatik yaitu senyawa yang mengandung cincin benzena. Dari semua senyawa aromatik berdasarkan benzena C_6H_6 . Gambar 2.11 adalah salah satu contoh senyawa aromatik.



Gambar 2.11 Benzena (Juliansyah, 2017)

b. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH)

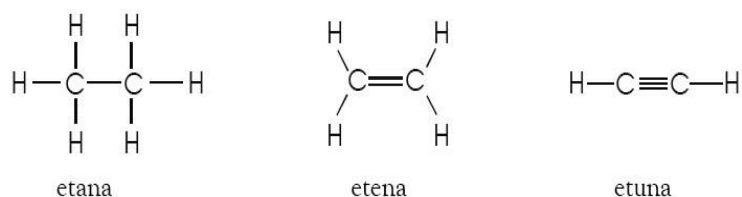
Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) adalah senyawa yang mempunyai berat molekul besar, berbentuk datar dan memiliki struktur dengan banyak cincin aromatik. PAH dapat ditemukan dialam sebagai polutan hasil pembakaran bahan-bahan organik, baik berupa partikel padat atau gas, (Putri Arbiana, 2012). Gambar 2.12 adalah bentuk struktur *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*.



Gambar 2.12 *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (Dianty, 2010)

c. Alifatik

Senyawa alifatik adalah senyawa yang mengandung karbon dan hidrogen yang bergabung bersama dalam rantai lurus, bercabang atau cincin non-aromatik, (Mulyadi, 2015). Etana, Etena dan Etuna adalah contoh dari senyawa alifatik sesuai pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Senyawa Alifatik (Mulyadi, 2015)

d. Cyclo

Cyclo atau dikenal juga sebagai siklik, dalam kimia siklik menunjukkan senyawa yang memiliki rantai karbon yang tertutup, baik berupa lingkaran ataupun cincin.



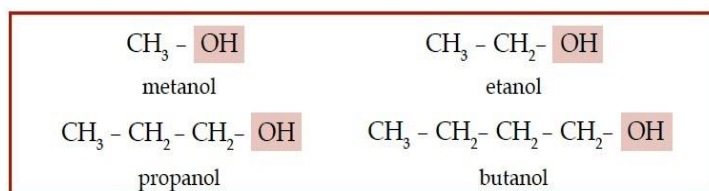
Gambar 2.14 Contoh Senyawa Siklik (Simbolon, 2016)

2. Golongan Oksigenat

Golongan Oksigenat merupakan golongan yang mengandung oksigen sebagai bagian struktur dari kimianya. Komponen dari golongan oksigenat ini tersusun dari unsur karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Dibawah ini adalah golongan yang termasuk dalam oksigenat:

a. Alkohol

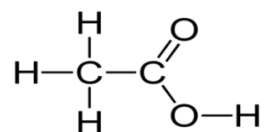
Merupakan senyawa yang mempunyai gugus fungsional $-OH$ yang terikat pada rantai karbon alifatik. Gugus fungsi dari senyawa alkohol dapat berikatan secara kovalen dengan atom karbon.



Gambar 2.15 Struktur Alkohol (Anonim I, 2013)

b. Asam

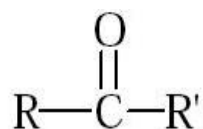
Secara khusus, asam pada golongan oksigenat merupakan senyawa yang mengandung hidrogen, oksigen dan satu unsur lainnya. Pengertian asam sendiri yaitu senyawa yang molekulnya memiliki gugus fungsional $-OH$ yang hidrogennya (H) dapat menjadi ion H^+ .



Gambar. 2.16 Struktur Asam (Juliansyah, 2017)

c. Keton

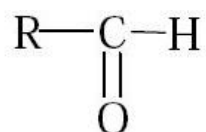
Keton adalah suatu senyawa turunan alkana dengan gugus fungsi $-C=O-$. Penamaan keton secara IUPAC umumnya dilakukan dengan mengganti akhiran $-a$ alkana menjadi $-on$, (Akbar, 2016).



Gambar 2.17 Struktur Keton (Akbar, 2016)

d. Aldehyd

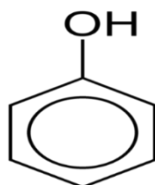
Merupakan salah satu senyawa karbon yang memiliki gugus karbonil. Gugus tersebut terletak diujung rantai karbon induk yang diakhiri dengan atom hidrogen.



Gambar 2.18 Struktur Aldehyd (Akbar, 2016)

e. Phenol

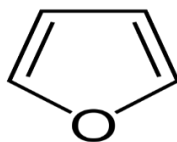
Phenol adalah zat kristal yang tak berwarna yang mempunyai bau khas dan strukturnya memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berikatan dengan cincin fenil.



Gambar 2.19 Struktur Phenol (Marison, 2013)

f. Furan

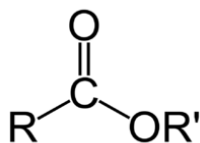
Merupakan sejenis senyawa kimia heterosiklik, yang umumnya diturunkan dari dekomposisi termal bahan – bahan yang mengandung pentosa. Sifat dari furan sendiri tidak berwarna, mudah terbakar dan beracun.



Gambar 2.20 Struktur Furan (Anonim II, 2017)

g. Ester

Merupakan senyawa kimia turunan dari asam (organik atau anorganik) dimana minimal satu gugus hidroksi (OH) digantikan oleh gugus alkoksi. Senyawa ini paling banyak diturunkan dari suatu asam karboksilat dan suatu alkohol.



Gambar 2.21 Struktur Ester (Anonim III, 2017)