

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sirait (2016) telah menyelidiki proses pirolisis menggunakan bahan biomassa berupa limbah cangkang sawit, selanjutnya limbah cangkang sawit tersebut dibersihkan dan dikeringkan kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pada suhu pemanasan 450°C, 500°C, 550°C, dan 600°C. Hasil penelitian menunjukkan produk *bio-oil* terbanyak berada pada suhu operasi 600°C dengan persentase produk sebanyak 44,56%. Namun pada penelitian ini masih memiliki kelemahan, dimana *bio-oil* dari pirolisis cangkang sawit sulit untuk terbakar. Hal ini diindikasikan karena senyawa penyusun *bio-oil* didominasi oleh kandungan asam, sementara kandungan fenol nya memiliki persentase yang sangat kecil.

Sriningsih dkk (2014) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah plastik jenis LDPE menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis. Sebelum proses pirolisis dimulai, limbah plastik dibersihkan dan dikeringkan selama 12 jam serta dipotong berukuran kurang lebih 3-5 cm dan selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor beserta katalis Co-Mo/Zeolit alam dan reaktor diberi pemanasan terlebih dahulu sampai 500°C. Kemudian dilakukan percobaan pada temperatur 350°C, 400°C, dan 450°C, dari percobaan ini menghasilkan *bio-oil* dengan temperatur efektif pada suhu 350°C. Secara efektif menghasilkan 14,91% produk cair, 1,39% produk padat, dan 83,71% produk gas. Dari analisa GC-MS *bio-oil* diperkirakan sebanyak 71,49% merupakan rentang rantai karbon bensin (C₆ – C₁₂) dan sebanyak 28,52% merupakan rentang rantai karbon solar (C₁₃ – C₂₀).

Rahman dkk (2017) telah melakukan penelitian tentang pengaruh persentase katalis zeolit sintetis terhadap proses pirolisis limbah plastik jenis PP. Limbah yang diperoleh kemudian dicuci sampai bersih, lalu dikeringkan dan dicacah dengan ukuran kurang lebih 1 x 1 cm. Proses pirolisis dilakukan dalam sebuah *furnace* dengan temperatur pemanasan 400°C selama 60 menit, uap yang dihasilkan pada proses tersebut didinginkan dengan kondensor dan unit pendingin sampai menghasilkan minyak. Minyak yang dihasilkan kemudian dilakukan uji

densitas, viskositas kinematik, titik nyala serta nilai kalor. Hasil uji tersebut kemudian dilakukan perbandingan dengan standar mutu bahan bakar solar (SNI 7390:2008) dan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan hasil minyak pirolisis dengan standar mutu bahan bakar solar (SNI 7390:2008)

Karakteristik	SNI 7930:2008		Minyak Pirolisis
	Min	Maks	
Densitas (g/ml)	0,81	0,87	0,85
Viskositas Kinematik (cSt)	2	5,0	2,140
Titik Nyala (°C)	60	-	52
Nilai Kalor (MJ/kg)	-	44,8	44,673

Berdasarkan uji dan kemudian dianalisis, hasil data menunjukkan bahwa minyak yang diperoleh melalui proses pirolisis limbah plastik dengan katalis zeolite sintetis menyerupai karakteristik standar bahan bakar solar menurut SNI 7390:2008.

Wardana dkk (2016) telah meneliti tentang pirolisis dari limbah cangkang sawit dan kantong plastik yang dicampur dan dipotong dengan ukuran 3-7 cm. Kedua bahan baku tersebut dimasukkan kedalam reaktor beserta katalis zeolit alam dengan pemanasan pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C, uap yang keluar dari proses pirolisis didinginkan dengan pendinginan fluida sampai diperoleh minyak. Minyak yang dihasilkan kemudian diuji dengan pengujian GC-MS dan hasil analisa menunjukkan bahwa dengan penambahan katalis zeolit alam dapat berfungsi dengan baik dalam mereduksi kandungan oksigen yang berdampak menurunnya senyawa asam dan naiknya senyawa alkana dan alkena.

Sihabudin (2018) menginvestigasi tentang pirolisis dari limbah cangkang sawit dan kantong plastik yang dicampur dan dipotong dengan ukuran 5 cm. Kedua bahan baku tersebut dimasukkan kedalam reaktor tipe *fixed bed* beserta katalis CaO dengan suhu pemanasan 500°C. Hasil analisis menunjukkan dengan semakin banyak penambahan katalis CaO akan berpengaruh dalam mengurangi kandungan asam.

Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan perkembangan dari penelitian sebelumnya tentang pirolisis berbahan campuran cangkang sawit dan plastik.

Dimana penelitian ini difokuskan untuk menyelidiki pengaruh penambahan dua jenis katalis berbahan kalsium oksida (CaO) dan Zeolit Alam terhadap sifat-sifat fisik dan kimia *pyrolytic-oil*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Cangkang kelapa sawit

Kelapa sawit dalam bahasa latin memiliki nama *Elaeis guineensis Jacq* dan berasal dari famili *Arecaceae* yang merupakan salah satu sumber minyak nabati. Kelapa sawit juga merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat signifikan, data tahun 2017 menunjukkan bahwa potensi kelapa sawit di Indonesia berdasarkan luas perkebunannya diperkirakan mencapai 12.307.677 hektare dengan total produksi minyak mencapai 35.359.384 ton (Dirjen Perkebunan, 2017). Seiring dengan produksi minyak kelapa sawit dalam jumlah besar sebagaimana telah disebutkan diatas, maka akan diikuti dengan perolehan produk samping (limbah) dalam jumlah yang besar juga.

Limbah kelapa sawit itu sendiri biasanya berupa tandan kosong, cangkang, janjang, dan *fiber* atau sabut (Haji, 2013). Berdasarkan penelitian pirolisisnya, (Haji, 2013) juga menyimpulkan bahwa pada cangkang sawitlah yang dapat menghasilkan asap cair dengan kandungan asam asetat dan phenol tinggi jika dibandingkan dengan tandan kosong, janjang maupun sabut. Pirolisis cangkang sawit dapat menghasilkan minyak dengan kandungan asam dan phenol dikarenakan cangkang sawit memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Menurut Basu (2013) selulosa merupakan senyawa organik yang paling banyak di bumi, yaitu komponen utama struktural dinding sel dalam cangkang sawit. Selulosa adalah polimer rantai panjang dengan polimerisasi komposisi tingkat tinggi dan berat molekul yang besar. Selulosa memiliki struktur kristal dari ribuan unit yang terdiri dari banyak molekul glukosa. Hemiselulosa memiliki rumus kimia $(C_5H_8O_4)_n$, terdegradasi pada rentang suhu 150–350°C. Hasil degradasi hemiselulosa berupa gas yang tidak dapat terkondensasi, serta jumlah tar yang lebih sedikit dibandingkan pada selulosa. Lignin memiliki struktur tiga

dimensi sehingga sulit untuk didekomposisi baik oleh kimia maupun mikroorganisme. Rentang suhu terdegradasi dari lignin yaitu 150–500°C. Karena terdegradasi lebih lama, lignin berkontribusi pada pembentukan *char* (Basu, 2013).

Untuk mengetahui kandungan kimia kelapa sawit melalui analisis dengan dua metode yakni analisis *proximate* dan *ultimate*. Kelapa sawit mempunyai kandungan *proximate* yang menunjukkan persen berat dari jumlah kadar air (*moisture*), bahan yang mudah menguap (*volatile matters*), abu (*ash*), dan karbon padat (*fixed carbon*). Selain itu, analisis *ultimate* pada kelapa sawit menentukan berbagai macam unsur-unsur kimia, meliputi karbon, hidrogen, oksigen, belerang, dan nitrogen. Analisis *ultimate* dan *proximate* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Analisis *Ultimate* dan *Proximate* cangkang sawit (Raju, 2016)

Analisis Ultimate, (%)	
C	68,45
H	9,52
O	20,99
N	0,74
S	0,20
Analisis Proximate, (%)	
<i>Moisture</i>	3,87
<i>Volatile matters</i>	69,54
<i>Fixed Carbon</i>	19,81
<i>Ash</i>	6,78

2.2.2 Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang dibentuk melalui proses polimerisasi, yaitu proses penggabungan beberapa molekul sederhana (*monomer*) melalui proses kimia menjadi molekul besar yang disebut dengan makromolekul atau polimer (Surono, 2013). Plastik merupakan jenis material yang paling banyak digunakan pada saat ini, dalam pemakaiannya semakin meningkat dari tahun ke tahun sehingga dampaknya diikuti dengan peningkatan

sampah dalam jumlah besar. Penanganan sampah plastik untuk diolah menjadi produk yang lebih bernilai sampai saat ini masih tergolong belum optimal. Misalnya penanganan dengan metode penumpukan maupun penimbunan merupakan metode yang kurang tepat karena sampah plastik sulit terurai oleh tanah, begitupun dengan metode pembakaran juga tidak tepat dan kurang efektif karena dapat mencemari lingkungan serta menyebabkan polusi udara (Syamsiro, 2015).

Ditinjau dari asalnya plastik merupakan salah satu produk turunan minyak bumi yang memiliki kandungan energi cukup tinggi yaitu dengan nilai kalor sebesar 41,90 – 46,50 MJ/kg (Syamsiro, 2015). Berdasarkan kandungan tersebut, sampah jenis plastik memiliki potensi apabila dikonversi menjadi bahan bakar minyak dan dapat dijadikan sebagai energi alternatif yang salah satunya adalah melalui proses pirolisis. Penanganan sampah plastik dengan mengkonversi menjadi bahan bakar minyak merupakan metode yang tepat, karena plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya berupa karbon dan hidrogen (Surono, 2013). Karbon (C) dan hidrogen (H) merupakan senyawa atom yang dimiliki oleh beberapa jenis bahan bakar seperti bensin, minyak tanah maupun bensin. Untuk mengetahui kandungan unsur karbon dan hidrogen pada material plastik, hal ini dapat melihat analisis *proximate* dan *ultimate* beberapa jenis plastik yang dilakukan oleh Park dkk (2012) yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Analisis *Ultimate* dan *Proximate* beberapa jenis plastik (Park dkk, 2012)

Analisis Ultimate				
Sample	LDPE	PP	PS	PVC
C	85,7	86,1	92,7	41,4
H	14,2	13,7	7,9	5,3
O	0,05	0,2	0	5,83
N	0,05	0	0	0,04
S	0	0	0	0,03
Analisis Proximate				
<i>Moisture</i>	0,3	0,3	0,3	0,4
<i>Volatiles</i>	99,7	99,7	99,5	99,4
<i>Fixed Carbon</i>	0	0	0,2	4,8
<i>Ash</i>	0	0	0	0,4

2.2.3 Jenis-jenis Plastik

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Contoh *thermoplastic* diantaranya adalah: PET (*polyethylene terephthalate*), HDPE (*High-Density polyethylene*), LDPE (*Low-Density polyethylene*), PVC (*Polypropylene*), PP (*polypropylene*) dan PS (*Polystyrene*). 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, *thermoplastic* adalah jenis plastik yang memungkinkan untuk didaur ulang bahkan dicairkan (Surono, 2013).

Menurut Surono (2013) untuk memudahkan dalam mengenali dan penggunaannya, maka jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi simbol atau kode penomoran. Berikut ini adalah macam-macam plastik dan kegunaannya:

1. PETE atau PET (*polyethylene terephthalate*)

PETE atau PET merupakan jenis plastik yang memiliki warna transparan dan biasanya digunakan untuk membuat produk seperti botol air mineral dan botol minuman yang lainnya. Secara khusus produk botol yang berbahan PETE atau PET hanya bisa digunakan sekali saja. Karena apabila botol ini digunakan secara berulang kali partikel berbahaya yang terkandung pada bahan PET akan terlepas yang apabila tercampur dengan minuman dapat menyebabkan kanker dalam jangka panjang. Jenis plastik ini secara penomoran diberi kode 1 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kode plastik jenis PETE atau PET

2. HDPE (*High-Density polyethylene*)

HDPE merupakan jenis plastik yang memiliki sifat bahan cukup kuat, keras, serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi. Secara umum bahan ini biasanya digunakan untuk membuat produk berupa botol susu cair, tupperware, jerigen pelumas, gallon air mineral dan sebagainya. Jenis plastik ini secara penomoran diberi kode 2 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kode plastik jenis HDPE

3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)

PVC atau V merupakan jenis plastik yang memiliki sifat lembut juga fleksibel. Jenis plastik ini biasanya digunakan sebagai pipa plastik, botol minyak sayur, botol shampoo, mainan anak-anak serta sebagai pembungkus makanan. Jenis

plastik ini secara penomoran diberi kode 3 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kode plastik jenis PVC atau V

4. LDPE (*Low-Density polyethylene*)

LDPE merupakan jenis plastik yang pada umumnya sering kita temukan sebagai wadah pembungkus makanan. Jenis plastik ini secara kimia sulit bereaksi dengan makanan yang berada dalam kemasannya, sehingga aman untuk digunakan. Contoh produk jenis plastik LDPE diantaranya kantong kresek, tempat untuk makanan, plastik kemasan, serta berbagai macam plastik tipis lainnya. Jenis plastik ini diberi kode 4 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kode plastik jenis LDPE

5. PP (*polypropylene*)

PP merupakan jenis plastik yang memiliki karakteristik kuat, ringan serta tahan terhadap suhu panas. Plastik jenis ini dapat kita jumpai pada produk seperti kotak margarin, yogurt, sedotan, pot tanaman dan lain sebagainya. Jenis plastik ini secara penomoran diberi kode 5 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kode plastik jenis PP

6. PS (*Polystyrene*)

PS merupakan jenis plastik yang memiliki sifat ringan, mudah dibentuk dan pada umumnya dikenal juga dengan styrofoam. Plastik jenis ini sering kita jumpai pada wadah kotak makanan dari styrofoam, gelas plastic, serta kotak CD. Jenis plastik ini secara penomoran diberi kode 6 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Kode plastik jenis PS

7. Jenis plastik lainnya (*Other*)

Other merupakan jenis plastik selain nomor satu sampai enam. Plastik jenis ini ada empat jenis diantaranya adalah Nylon, PC (*polycarbonate*), ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*) dan SAN (*styrene acrylonitrile*). Contoh produk dari jenis plastik ini biasanya digunakan pada pembuatan suku cadang kendaraan. Plastik jenis *other* secara penomoran diberi kode 7 dan dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kode plastik jenis *other*

2.2.4 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik maupun anorganik tanpa disertai atau sedikit oksigen. Pada umumnya proses pirolisis dilakukan didalam sebuah reaktor dengan sumber pemanas dari *burner* LPG dan pemanas elektrik sampai temperature 300-500°C (Andriyanto, 2017). Proses pirolisis akan menghasilkan produk berfraksi gas, cair dan residu padatan (Syamsiro, 2015).

Pada saat proses pirolisis berlangsung, material plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas, pada proses itulah rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai yang lebih pendek dimana fraksi gas yang dikondensasi pada pipa waterjaket akan berubah menjadi minyak. minyak ini biasanya disebut dengan *pyrolytic-oil* (Mujiarto dkk, 2014).

Proses pengolahan limbah cangkang sawit dan sampah plastik dengan metode pirolisis untuk menjadi bahan bakar minyak merupakan metode yang tepat dan efektif. Hal ini dikarenakan prosesnya cepat serta produk hasil dari proses pirolisis mudah digunakan dan mudah dalam penyimpanan. Penelitian tentang pirolisis mulai banyak dilakukan, namun pada umumnya minyak hasil pirolisis tidak dapat digunakan secara langsung pada kendaraan. Hal ini dikarenakan *bio-oil* memiliki viskositas dan tingkat keasaman yang cukup tinggi, sehingga apabila digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan dapat menghambat pengabutan saat kompresi dan dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen ruang bakar kendaraan.

Berbagai upaya penelitian tentang pirolisis terus dilakukan untuk mendapatkan *bio-oil* yang berkualitas tinggi. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas minyak pirolisis adalah dengan menambahkan katalis. Selain itu, kualitas minyak pirolisis juga dipengaruhi beberapa parameter diantaranya tipe reaktor yang digunakan, temperatur pemanasan, dan waktu tinggal bahan baku didalam reaktor (Syamsiro, 2015).

2.2.4.1 Jenis-jenis Pirolisis

Berdasarkan laju proses pemanasan, Basu (2010) mengklasifikasikan proses pirolisis menjadi 3 jenis diantaranya sebagai berikut:

1. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*)

Pirolisis lambat merupakan proses pirolisis yang memiliki laju pemanasan kurang lebih 400°C. Pirolisis jenis ini umumnya menghasilkan produk cair dalam jumlah kecil, sedangkan produk berupa arang dan gas cenderung lebih banyak. Proses ini ada kemungkinan dapat memproduksi produk berupa uap yang dapat

terkondensasi menjadi *pyrolytic-oil* dan juga memproduksi gas yang tidak bisa dikondensasi (Basu, 2013).

2. Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*)

Pirolisis cepat merupakan proses pirolisis yang memiliki laju pemanasan sangat tinggi yaitu antara 1000-10.000°C. Bahan baku yang telah dimasukkan ke dalam reaktor akan dipanaskan dengan sangat cepat sehingga mencapai temperatur puncak (maksimal). Untuk menghasilkan produk *pyrolytic-oil* dibatasi temperatur puncak harus di bawah 650°C. Jika dilakukan pada temperatur melebihi 650°C bahkan 1000°C, maka produk utama yang dihasilkan berupa gas (Basu, 2013).

3. Pirolisis kilat (*flash pyrolysis*)

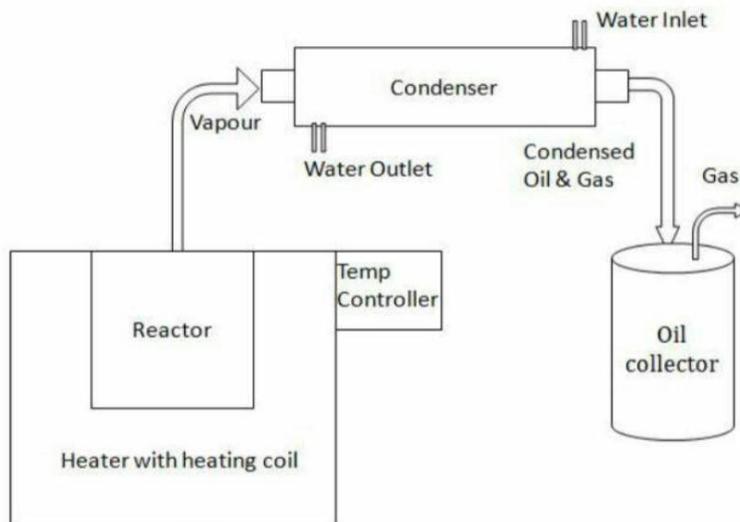
Pirolisis kilat merupakan proses pirolisis yang berlangsung hanya beberapa detik saja dengan suhu pemanasan yang sangat tinggi. Selain dengan suhu pemanasan yang sangat tinggi, partikel biomassa harus dalam ukuran sangat kecil yaitu sekitar 105-250 µm.

2.2.4.2 Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

Ada beberapa tipe atau jenis reaktor pirolisis yang dapat digunakan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Fixed Bed Reactor*

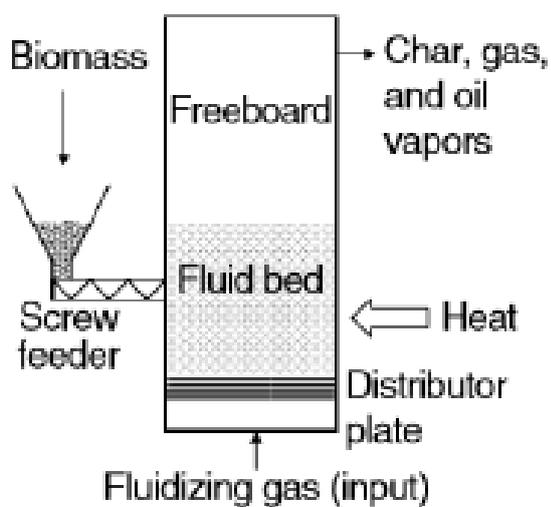
Fixed Bed Reactor adalah alat pirolisis yang prinsip kerjanya terjadi kontak langsung antara bahan baku dengan partikel katalis didalam reaktor. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah konstruksinya sederhana, mudah digunakan, lebih murah serta dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Reaktor tipe *fixed bed* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Reaktor *Fixed Bed* (Senthilkumar, 2015).

2. *Bubbling Fluidized Bed Reactor*

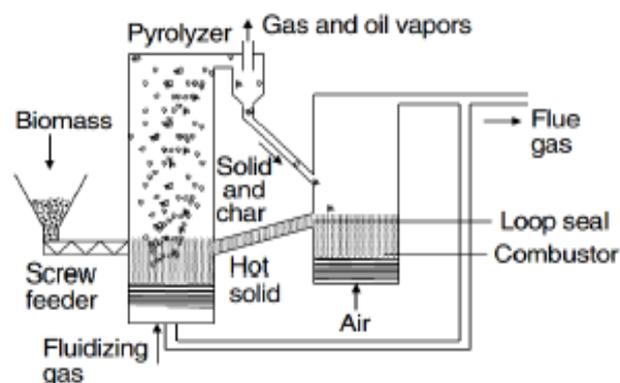
Bubbling Fluidized Bed Reactor merupakan salah satu reaktor pirolisis paling baik. Reaktor ini dapat digunakan pada tekanan udara normal 1 atm dengan suhu pemanasan 450°C , dan dapat menghasilkan bio-oil sampai 75% dari total biomassa yang digunakan. Reaktor tipe *bubbling fluidized bed* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Reaktor *Bubbling Fluidized Bed* (Basu, 2013).

3. *Circulating Fluidized Bed Reactor*

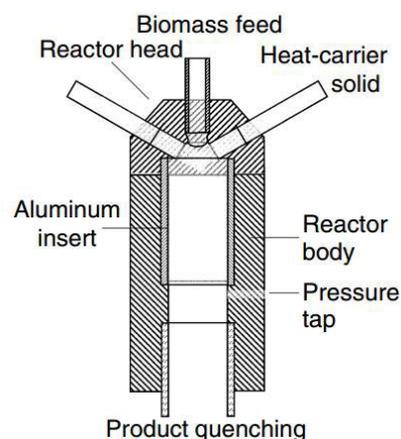
Circulating Fluidized Bed Reactor merupakan reaktor pada proses pirolisis yang prinsip kerjanya seluruh padatan material terbawa oleh aliran dan selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor jenis ini adalah sangat tepat untuk reaksi yang berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi serta tar yang dihasilkan cukup rendah. Namun kelemahan dari penggunaan reaktor jenis ini dapat terbentuknya gradient temperatur di arah aliran padatan serta perpindahan panas kurang efisien.



Gambar 2.10. Reaktor *Circulating Fluidized Bed* (Basu, 2013).

4. *Ultra-Rapid Pyrolyzer*

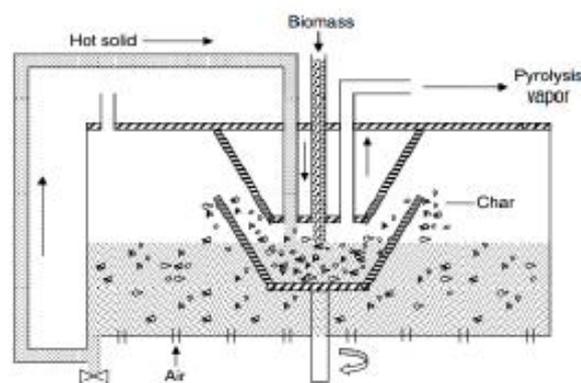
Ultra-Rapid Pyrolyzer merupakan jenis reaktor pirolisis yang pengoperasiannya membutuhkan pemanasan mencapai 650°C. Reaktor tipe *ultra-rapid* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Reaktor *Ultra-Rapid* (Basu, 2013).

5. *Rotating Cone reactor*

Rotating Cone reactor merupakan jenis reaktor pirolisis yang media pemanasannya menggunakan pasir silika dan tercampur secara langsung dengan bahan biomassa didalam wadah berbentuk kerucut. Bahan baku pirolisis diumpankan dari atas kebawah, kemudian gaya sentrifugal akan mendorong partikel keatas dinding yang panas, sementara produk berfasa gas akan menguap mealui saluran pada reaktor.



Gambar 2.12. Reaktor *Rotating Cone* (Basu, 2013).

2.2.5 Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang berfungsi menurunkan kebutuhan energi aktivasi pada proses pirolisis. Adapun setelah reaksi tersebut selesai bentuk katalis biasanya cenderung dalam kondisi tetap (Nindita, 2015). Menurut Sihabudin (2018) keberadaan katalis pada proses pirolisis memiliki peranan penting karena dapat menurunkan kebutuhan energi dibandingkan dengan proses pirolisis yang tanpa katalis, selain itu katalis juga berguna dalam menghasilkan formasi hidrokarbon cabang yang lebih banyak. Pemakaian katalis untuk penelitian pirolisis mulai banyak digunakan, berbagai macam katalis yang dapat digunakan diantaranya seperti katalis sintesis berupa silika alumina, zeolit X, zeolit Y, zeolit ZSM dan katalis alam berupa zeolit alam. Penelitian pirolisis yang akan dilakukan difokuskan pada penggunaan katalis berbahan *Calcium Oxide* (CaO) dan Zeolit Alam dengan penjelasan sebagai berikut:

a. Katalis CaO (*calcium oxide*)

CaO atau Kalsium Oksida merupakan salah satu jenis katalis yang memiliki sumber alami berasal dari cangkang telur, kerang dan tulang. Melimpahnya jumlah limbah cangkang telur, kerang maupun tulang hasil industri maupun rumah tangga menjadikan potensi limbah ini sebagai bahan baku pembuatan katalis CaO. Selain ketersediaannya yang melimpah, menurut Sihabudin (2018) Kalsium Oksida (CaO) merupakan katalis heterogen berbentuk bubuk, ramah lingkungan serta tidak menimbulkan korosif sebagaimana bentuknya dapat dilihat pada Gambar 2.13.



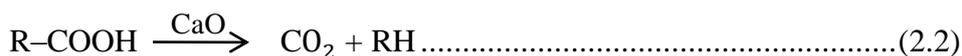
Gambar 2.13. Katalis CaO (*calcium oxide*)

Menurut Wang dkk (2010) penggunaan katalis CaO sebagai katalis memiliki beberapa tahapan reaksi yang ditawarkan, diantaranya ialah sebagai berikut:

a. Reaksi Netralisasi



b. Reaksi *Thermal Cracking*



c. Reaksi *Catalytic Cracking*



b. Katalis Zeolit Alam

Katalis Zeolit alam merupakan jenis katalis yang mudah didapat karena ketersediaannya dalam jumlah besar berada di alam. Menurut Sriningsih (2014) cadangan bahan zeolit di Indonesia tersedia lebih dari 205,82 juta ton. Adapun zeolit yang paling banyak dapat ditemukan di wilayah Jawa Tengah (Wonosari dan Klaten), Jawa Barat (Bogor, Tasikmalaya, Sukabumi), dan Jawa Timur (Bayah). Zeolit alam merupakan katalis yang terbentuk dari aktifitas letusan gunung berapi yang menghasilkan vulkanik dan sedimen kemudian terjadi proses pelapukan karena suhu lingkungan yang panas dan dingin sehingga terbentuk menjadi bebatuan yang disebut zeolit alam. Katalis Zeolit alam dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Zeolit Alam

Menurut Dickerson dkk (2013) penggunaan katalis CaO sebagai katalis memiliki beberapa tahapan reaksi yang ditawarkan, diantaranya ialah sebagai berikut:

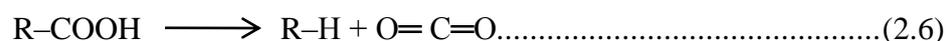
a. Reaksi Dehidrasi



b. Reaksi Dekarbonilasi



c. Reaksi Dekarboksilasi



d. Reaksi Aromatisasi (Pembentukan senyawa aromatik)

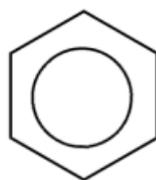
2.2.6 Golongan Senyawa

2.2.6.1 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. Senyawa-senyawa yang termasuk dalam golongan hidrokarbon diantaranya ialah sebagai berikut:

a. Aromatik (*Aromatic*)

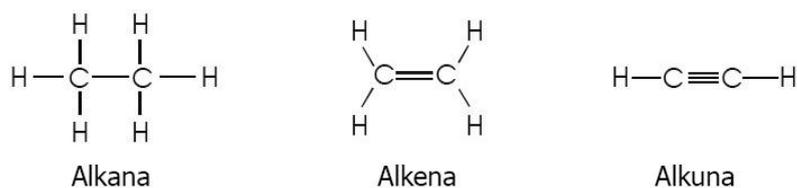
Senyawa aromatik yaitu senyawa yang mengandung cincin benzena. Dari semua senyawa aromatik berdasarkan benzena C_6H_6 (Sihabudin, 2018) Salah satu contoh senyawa aromatik dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Contoh senyawa aromatik (Sihabudin, 2017).

b. Alifatik

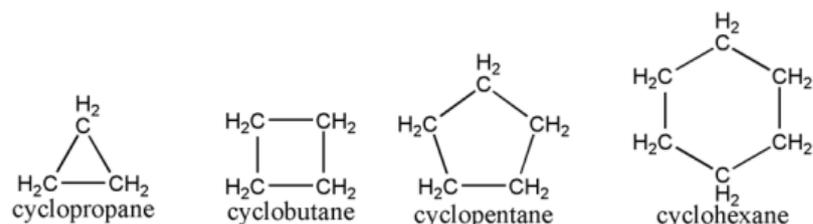
Senyawa alifatik yaitu senyawa kimia yang memiliki unsur karbon (C) dan hidrogen (H) yang bergabung bersama pada rantai lurus, bercabang ataupun cincin non-aromatik (Sihabudin, 2018). Contoh dari senyawa alifatik adalah seperti alkana, alkena, dan alkuna sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Contoh senyawa alifatik (Mulyadi, 2015).

c. Siklik

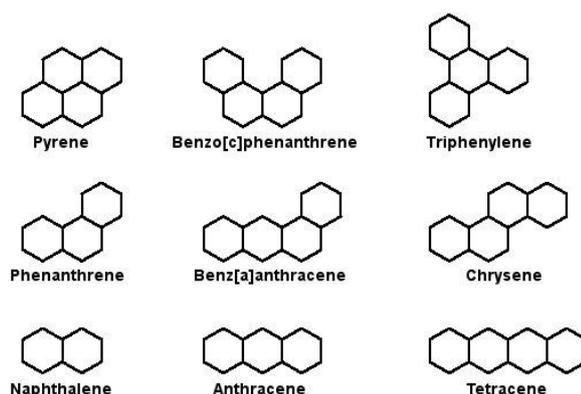
Menurut Sihabudin (2018) siklik dalam kimia menunjukkan senyawa yang memiliki rantai karbon yang tertutup, baik berupa cincin maupun lingkaran. Contoh senyawa siklik dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Contoh senyawa siklik (Siahaan, 2017).

d. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH)

Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) adalah senyawa kimia yang memiliki berat molekul besar berbentuk datar serta memiliki struktur cincin aromatik dalam jumlah banyak. PAH dapat ditemukan di alam sebagai polutan hasil dari pembakaran bahan-bahan organik, baik berupa partikel padat atau gas (Sihabudin, 2018). Bentuk struktur PAH dapat dilihat pada Gambar 2.18.



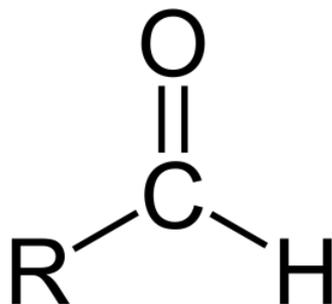
Gambar 2.18. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (Dianti, 2013).

2.2.6.2 Golongan Oksigenat

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

a. Aldehid

Aldehid merupakan satu senyawa karbon yang memiliki gugus karbonil (Sihabudin, 2018). Struktur senyawa aldehid dapat dilihat pada Gambar 2.19.

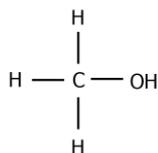


Gambar 2.19. Struktur aldehid (Sihabudin, 2018).

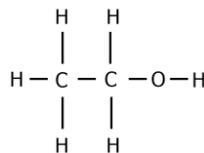
b. Alkohol

Alkohol merupakan senyawa kimia yang memiliki gugus fungsional $-\text{OH}$ yang terikat pada rantai karbon alifatik. Gugus fungsi dari senyawa alkohol dapat berikatan secara kovalen dengan atom karbon sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.20.

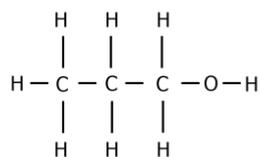
1. Methanol, CH_3OH



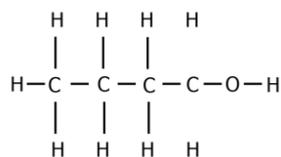
2. Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$



3. Propanol, $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$



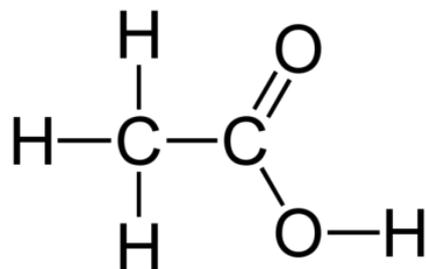
4. Butanol, $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$



Gambar 2.20. Contoh senyawa alkohol (Darmayasa, 2016).

c. Asam

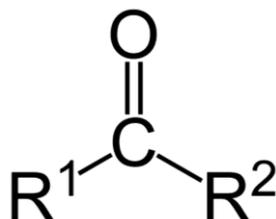
Asam merupakan senyawa kimia yang molekulnya memiliki gugus fungsional OH yang hidrogennya (H) dapat menjadi ion H^+ . Struktur asam dapat dilihat pada Gambar 2.21



Gambar 2.21. Struktur asam (G. Chang, 2016).

d. Keton

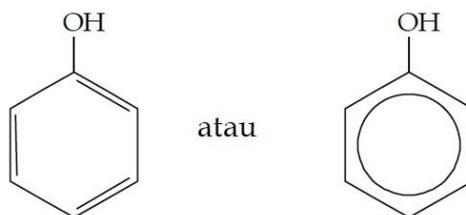
Keton merupakan senyawa turunan alkana dengan gugus fungsi -C=O- . penamaan senyawa keton secara IUPAC pada umumnya dilakukan dengan mengganti akhiran -a pada alkana menjadi -on (Sihabudin, 2018). Struktur senyawa keton dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22. Struktur keton (Sihabudin, 2018).

e. Phenol

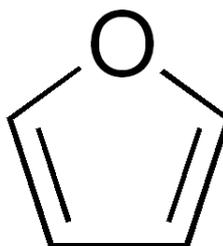
Phenol adalah zat Kristal yang tidak berwarna yang mempunyai bau khas dan strukturnya memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berikatan dengan cincin fenil. Phenol juga dapat diartikan sebagai senyawa aromatik yang memiliki rantai OH (Wardana, 2015). Struktur senyawa phenol dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23. Struktur Phenol (G. Chang, 2016).

f. Furan

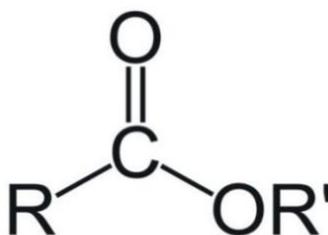
Furan merupakan senyawa kimia heterosiklik yang umumnya diturunkan dari dekomposisi thermal bahan-bahan yang mengandung pentosa (Sihabudin, 2018). Struktur senyawa furan dapat dilihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Struktur furan (Sihabudin, 2018).

g. Ester

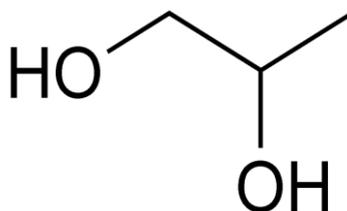
Ester merupakan senyawa kimia turunan dari asam (organik atau anorganik) dimana minimal satu gugus hidroksi (OH) digantikan oleh gugus alkoksi (Sihabudin, 2018). Struktur senyawa ester dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Struktur ester (Krisna, 2012).

h. Glycol

Glycol merupakan senyawa kimia yang memiliki dua gugus hidroksil (-OH) yang melekat pada atom karbon (C) yang berbeda. Struktur senyawa glycol dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26. Struktur glycol (Rachman, 2015).

2.2.7 Karakteristik Bahan Bakar

Bahan bakar minyak yang akan digunakan pada mesin tertentu harus diketahui terlebih dahulu karakteristiknya, hal ini dimaksudkan agar bahan bakar tersebut dapat mencapai hasil pembakaran yang optimal. Secara umum, bahan bakar minyak memiliki karakteristik sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik Bahan Bakar (Andriyanto, 2017)

No	Parameter	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (cSt)	1,4	2 – 4,5	0,7
2	Nilai Kalor (MJ/kg)	45,799	38,686	47,080
3	Densitas (g/ml)	0,9	0,8	0,77
4	Keasaman	-	-	-

2.2.7.1 Viskositas

Viskositas merupakan salah satu sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan suatu bahan bakar minyak. Makin rendah viskositas suatu bahan bakar memiliki arti semakin encer dan mudah untuk mengalir, demikian sebaliknya makin tinggi viskositas akan semakin kental dan sulit untuk mengalir ketika melalui pipa saluran bahan bakar maupun ketika proses pengabutan pada ruang bakar kendaraan.

Menurut Sudarja (2016) viskositas diklasifikasikan menjadi dua, yaitu viskositas dinamis dan viskositas kinematis.

- e. Viskositas dinamis (*dynamic viscosity*) dalam istilah lain disebut dengan viskositas absolut (*absolute viscosity*) atau hanya viskositas yang kemudian didefinisikan sebagai ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi (perubahan bentuk) akibat tegangan geser ataupun deformasi sudut. Viskositas dinamis dapat dinyatakan dengan centipoise (cP) dalam satuan metrik.
- f. Viskositas kinematis (*kinematic viscosity*) adalah perbandingan (*ratio*) antara viskositas dinamis dengan massa jenisnya. Viskositas kinematis dapat dinyatakan dengan centistokes (cSt) dalam satuan metrik.

2.2.7.2 Nilai Kalor

Secara umum nilai kalor didefinisikan sebagai jumlah energi panas yang dilepaskan dalam proses pembakaran oleh suatu bahan bakar untuk tiap satuan massa. Adapun cara mengetahui nilai kalor yang dimiliki suatu bahan bakar adalah dengan mengukurnya menggunakan alat bernama *Bomb Calorimeter*. Secara teori nilai kalor diklasifikasikan menjadi dua, yaitu nilai kalor rendah atau LHV (*Lower Heating Value*) dan nilai kalor atas atau HHV (*High Heating Value*).

Nilai kalor rendah (LHV) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150°C. Pada temperatur ini air berfasa uap. Sedangkan nilai kalor atas (HHV) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25°C (Andriyanto, 2017).

2.2.7.3 Densitas

Densitas (massa jenis) adalah pengukuran massa per satuan volume benda atau atau sampel berfasa cair. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar itu sendiri.

2.2.7.4 Keasaman

Keasaman atau derajat keasaman merupakan angka yang menyatakan tingkat keasaman atau kebasaaan suatu bahan cair. Suatu bahan cair dapat dinyatakan bersifat asam jika memiliki nilai pH dibawah 7,0, dan bersifat basa apabila nilai pH diatas 7,1. Sementara larutan yang memiliki nilai pH 7,0 maka disebut larutan netral. Sifat keasaman dalam bahan bakar minyak perlu diperhatikan, karena sifat asam yang tinggi dapat menimbulkan korosi jika bahan bakar tersebut bereaksi pada komponen ruang bakar kendaraan. Efek korosi ini dapat berakibat kerusakan fatal terhadap komponen-komponen tersebut.