

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) memiliki beberapa varietas, di antaranya dura, pesifera, dan tenera [9]. Taksomomi tumbuhan kelapa sawit tergolong sebagai ordo palmales, famili palmae, spesies *E. guineensis Jacq*, *E. melanococa* atau *E. oleifera* yang berasal dari Amerika latin. Cangkang sawit adalah bagian berkayu yang ada didalam buah sawit. Bahan ini berwarna coklat tua sampai kehitaman dengan tekstur yang cukup keras dan berfungsi sebagai pelindung daging buah biji sawit (*endosperm*). Cangkang kelapa sawit sebagai salah satu limbah padat pengolahan minyak CPO dan (*Palm Kernel Oil*) PKO, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Dengan kandungan karbon terikat sebesar 20,5%, cangkang kelapa sawit mampu dijadikan sebagai sumber energi alternatif [10].

Di Indonesia, kelapa sawit berkembang dengan pesat dan perkebunannya yang banyak tersebar di berbagai wilayah. Wilayah yang paling besar dalam produksi kelapa sawit ada di Pulau Sumatera. Berkembangnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia dikarenakan kelapa sawit memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap devisa negara. Pada 2003, total devisa yang dihasilkan industri ini mencapai US\$ 2,6 miliar atau 4,3% dari total ekspor Indonesia seluruhnya yang mencapai US\$ 61 miliar [11]. Dari jumlah ketersediaan lahan, Indonesia memiliki potensi untuk menjadi negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia [12].

Cangkang sawit seperti halnya kayu diketahui mengandung komponen-komponen serat seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Cangkang kelapa sawit mempunyai komposisi kandungan selulosa (26,27 %), hemiselulosa (12,61 %), dan lignin (42,96 %). Ketiga komponen ini apabila mengalami kondensasi dari pirolisanya akan menghasilkan asap cair yang mengandung senyawa-senyawa fenol, karbonil, dan asam.

Tabel 1. Kandungan *Proximate* Cangkang Kelapa Sawit

<i>Analisis Proximate</i>	Kadar %
<i>Moisture Content</i>	5,7
<i>Volatile Matters</i>	73,7
<i>Ash</i>	2,2
<i>Fixed Carbon</i>	18,4

Sumber : [13]

Tabel 2. Kandungan *Ultimate* Cangkang Kelapa Sawit

Analisis Proximate	Kadar %
C	53,8
H	7,2
O	36,3
N	0,5
S	0,6

Sumber : [13]

2.2 Thermal cracking

Thermal cracking adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu yang tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. *Thermal cracking* sering disebut juga sebagai termolisis secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi suhu tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat *thermal cracking* dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen [14].

Thermal cracking merupakan proses pengeringan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses *thermal cracking* menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Pada umumnya proses *thermal cracking* berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam [14]. Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses *thermal cracking* adalah sebagai berikut [15]:

1. Suhu

Suhu memiliki pengaruh yang besar dalam proses *thermal cracking*. Semakin tinggi suhu maka semakin banyak gas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas sehingga berat dari padatan bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi suhu akan membuat produk yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan suhu yang tinggi dapat merubah hidrokarbon rantai panjang dan sedang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Jika rantai hidrokarbon sangat pendek maka diperoleh hasil gas yang tidak dapat dikondensasi. Suhu *thermal cracking* berlangsung pada suhu di atas 300 °C.

2. Waktu reaksi

Waktu memiliki pengaruh pada proses *thermal cracking*. Dalam kondisi vakum, waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk *thermal cracking* menjadi gas karena semakin lama waktunya maka akan membuat hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai pendek. Produk padatan juga akan semakin berkurang karena menguap jika waktu reaksinya semakin lama. Waktu reaksi yang digunakan untuk *thermal cracking* metode *catalytic* pada range 60-150 menit.

Tiga komponen utama yang ada pada biomassa yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin terdekomposisi secara termokimia menjadi arang dan gas volatil. Beberapa senyawa volatil ini dapat dikondensasi menjadi fasa cair yang disebut dengan asap cair. Jadi, *thermal cracking* biomassa menghasilkan 3 produk, yaitu asap cair yang di dalamnya terdeposit tar, bio-char (bio-arang), dan gas tak terkondensasi [16].

Reaksi *thermal cracking* biomassa adalah sebagai berikut:

Biomassa → Bio-oil + Bio-Char [15]

Thermal cracking adalah suatu proses pemanasan biomassa tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian dari senyawa senyawa kompleks yang menghasilkan produk pada fasa padat, gas, dan cair. Asap terbentuk karena pembakaran yang tidak sempurna, yaitu pembakaran dengan ketiadaan oksigen yang melibatkan reaksi dekomposisi bahan hemiselulosa, selulosa dan lignin menjadi komponen organik dengan bobot yang lebih rendah, karena pengaruh panas. Proses *thermal cracking* pelepah kelapa sawit akan menghasilkan 3 produk utama yaitu : asap cair, arang dan tar [14].

Termografimetri analisis (TGA) pengujian biomassa menunjukkan bahwa ada tiga tahap untuk proses *thermal cracking* biomassa. Tahap pertama, *pra-thermal cracking*, terjadi antara suhu 120°C dan 200°C dengan penurunan sedikit berat biomassa, ketika ada penyusunan ulang internal, seperti terputusnya ikatan, kemunculan radikal bebas dan pembentukan gugus karbonil dengan pembebasan sedikit air (H₂O), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Tahap kedua adalah proses *thermal cracking* utama, di mana dekomposisi padat terjadi dengan penurunan berat yang signifikan dari biomassa awal. Tahap terakhir adalah char devolatilisasi terus menerus yang disebabkan oleh pembelahan dari ikatan C-H dan C-O. Hasil analisis termografimetri analisis (TGA) juga menunjukkan *thermal cracking* hemiselulosa dan

selulosa berlangsung cepat dengan kehilangan berat paling banyak terjadi pada suhu 220-315°C dan 315-400°C, lignin paling sulit terdekomposisi dan kehilangan berat terjadi pada rentang suhu yang tinggi yaitu 160-900 °C [15].

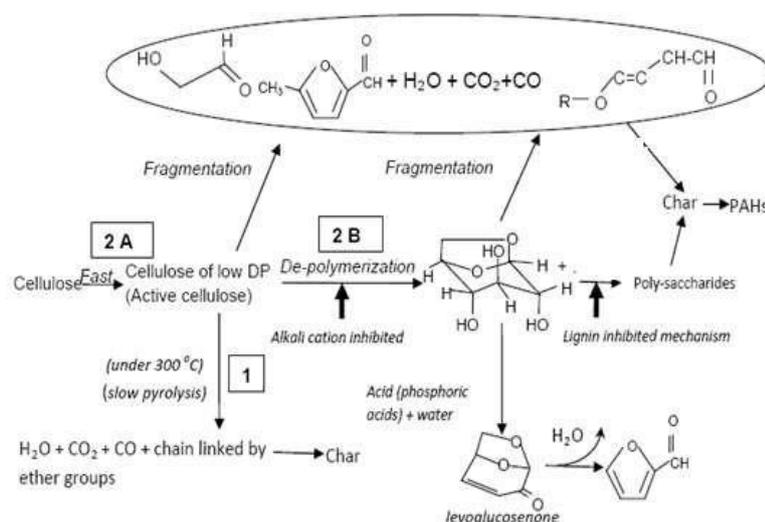
Proses *thermal cracking* biomasa secara ringkas dimulai dengan memotongnya sesuai dengan ukuran yang diinginkan kemudian direndam dan dikeringkan. Penggunaan sistem *cyclone* dan kondenser dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. *Cyclone* digunakan untuk proses pengumpulan produk berupa arang dan kondenser digunakan pada proses kondensasi uap untuk menghasilkan produk cair. Pendinginan yang cepat juga akan mempengaruhi kuantitas produk cair yang diperoleh.

Untuk kondisi operasi proses *thermal cracking*, pada suhu di bawah 300 °C, maka reaksi yang dominan adalah dehidrasi. Disini akan banyak dihasilkan gas CO₂, air, dan CO. Produk utama yang dihasilkan adalah arang. Pada suhu di atas 400 °C, terjadi depolimerisasi yang menghasilkan *levoglucosan*. Pemanasan yang tinggi mengakibatkan reaksi dehidrasi sangat kecil terjadi sehingga hasil utamanya adalah berupa cair.

Mekanisme reaksi pada proses *thermal cracking* ini berbeda pada setiap komponennya untuk menghasilkan produk yang beragam. Berikut akan dijelaskan mekanisme reaksi untuk selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

2.2.1 Mekanisme Reaksi Perengkahan Selulosa

Mekanisme reaksi *thermal cracking* yang terjadi untuk molekul selulosa dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

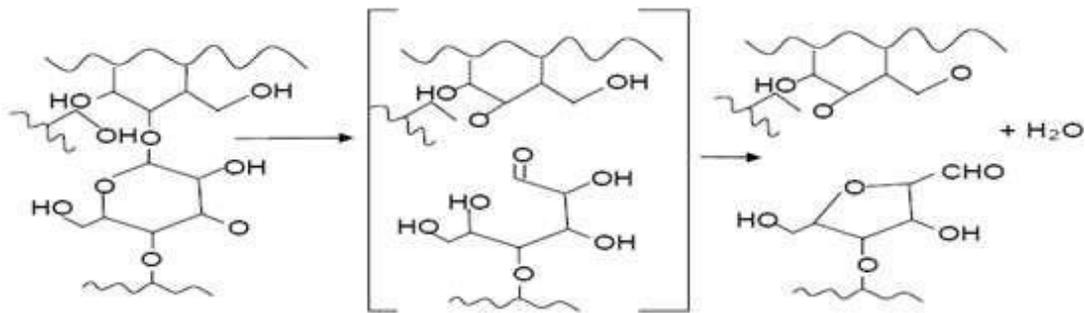


Gambar 2. Reaksi Degradasi Selulosa

Sumber: [18]

1. Reaksi 1

Akibat pemanasan awal maka akan terjadi reaksi dehidrasi sehingga terbentuk senyawa radikal bebas, penghilangan air, senyawa karbonil, karboksil, dan hidroperoksida. Kemudian akan terjadi reaksi antara H_2O , CO_2 , dan CO menjadi arang. Reaksi dehidrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

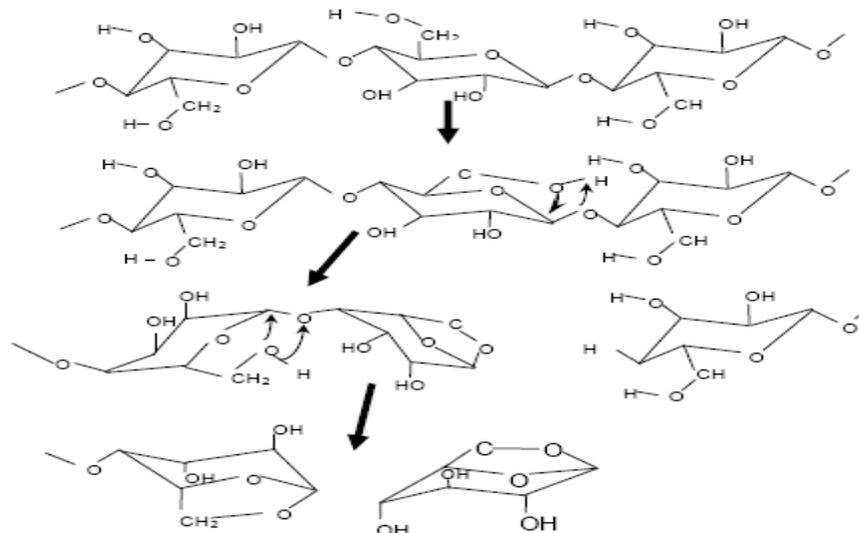


Gambar 3. Mekanisme reaksi dehidrasi selulosa

Sumber : [18]

2. Reaksi 2 (depolymerisasi)

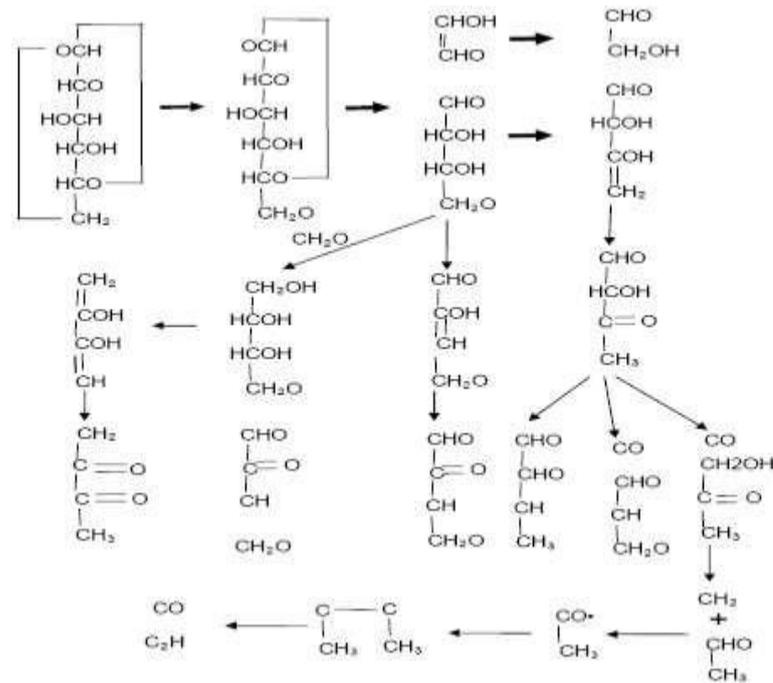
Reaksi ini diawali dengan terbentuknya selulosa aktif yang juga disebut sebagai reaksi *broido-shafizadeh*. Kemudian akan terjadi dekomposisi termal dimana selulosa aktif tersebut akan membentuk *levoglucosan* melalui proses depolymerisasi. Reaksi pembentukan selulosa aktif dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme perengkahan selulosa menjadi selulosa aktif

Sumber: [18]

Selanjutnya akan terjadi reaksi perengkahan dari ikatan selulosa sehingga nantinya akan dihasilkan senyawa karboksil dan senyawa oksigenat. Selulosa juga akan menghasilkan senyawa *levoglucosan* yang akan mengalami dehidrasi dan dekarbonilasi sehingga dihasilkan senyawa C₂, C₃ dan C₄. Melalui reaksi ini akan terbentuk juga hidroksi-asetaldehid. Reaksi perengkahan selulosa tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



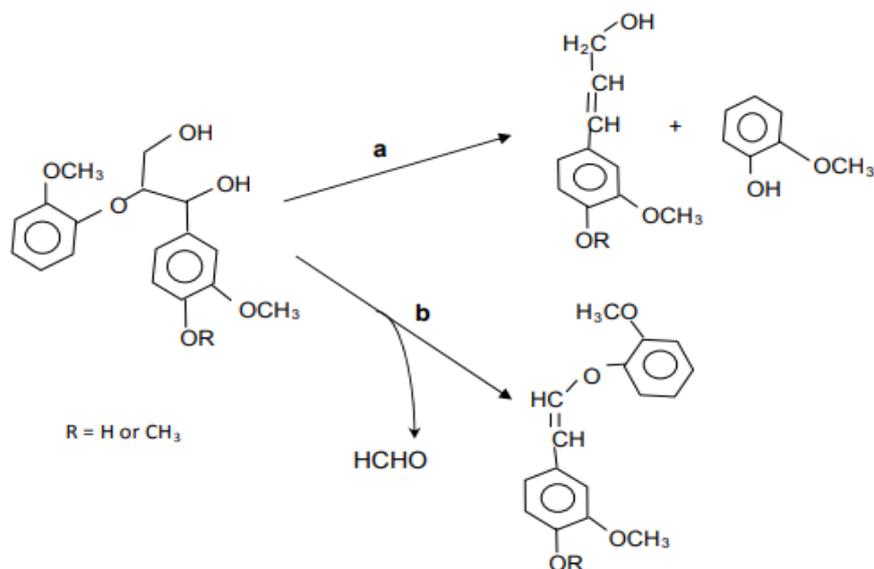
Gambar 5. Mekanisme reaksi detail perengkahan selulosa

Sumber: [18]

2.2.2 Mekanisme Lignin

Lignin adalah polimer aromatik kompleks yang terbentuk melalui polimerisasi tiga dimensi dari sinamil alkohol dengan bobot molekul 11.000 [19]. Lignin terbentuk dari fenil propana, unit-unit fenil propana terikat satu dengan lainnya dengan ikatan eter (C-O-C) maupun ikatan karbon-karbon [20].

Pada umumnya, mekanisme degradasi pada lignin terjadi dalam bentuk reaksi dehidrasi (pada suhu sekitar 250 °C), depolimerisasi, dan kondensasi/karbonisasi. Degradasi termal pada lignin ini akan menghasilkan senyawa monomeric fenol, asam formiat, formaldehid, metanol, karbondioksida, dan air. Reaksi depolimerisasi lignin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Reaksi degradasi lignin

Sumber: [20]

Pada reaksi (a) terjadi degradasi ikatan C-O menjadi senyawa alkohol atau guaiacol. Sementara itu pada reaksi (b) terjadi eliminasi ikatan karbon menjadi fenol eter. Kehadiran lignin pada suatu *thermal cracking* biomasa akan mengarah untuk menghasilkan produk arang.

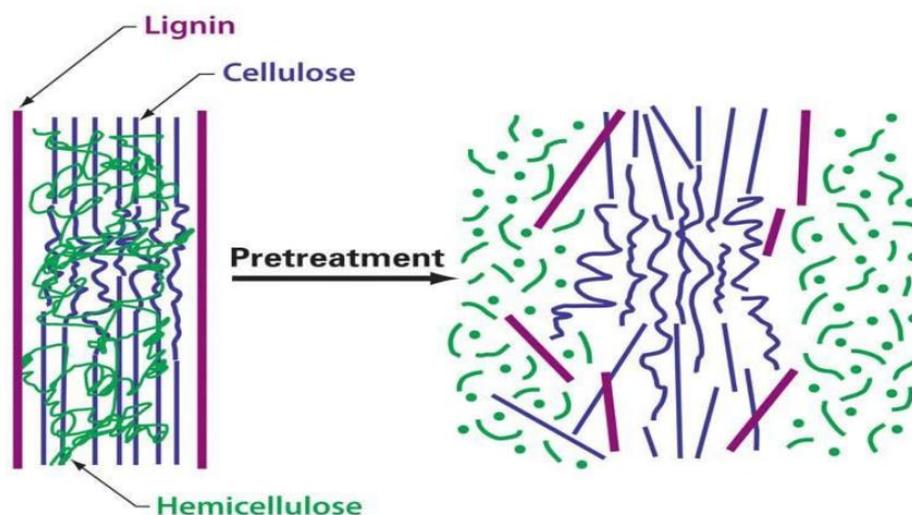
Setelah mengalami proses *thermal cracking* maka akan terbentuk fasa cair dengan mengalami proses kondensasi pada sistem kondensernya. Produk berupa cair ini terdiri dari air dengan campuran asetaldehid, propion aldehyd, butiraldehyd, acrolein, crotonaldehyd, furan, aseton, butanedion, dan metanol.

2.3 Delignifikasi

Delignifikasi merupakan proses pengurangan lignin dan pemecahan lignoselulosa menjadi lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Delignifikasi yang baik harus meningkatkan pembentukan gula pada proses hidrolisis enzimatik, menghindari degradasi selulosa, menghindari pembentukan produk samping yang dapat menghambat proses hidrolisis dan fermentasi, serta ekonomis. Proses pemisahan lignin dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Secara mekanis, proses sangat sederhana dan tidak menggunakan bahan kimia. Pada proses ini kandungan lignin dan zat lain masih tinggi.

2. Secara kimia, proses ini menggunakan bahan kimia pada suhu, tekanan, konsentrasi dan waktu tertentu. Proses ini menggunakan bahan kimia sebagai bahan utama untuk melarutkan apa yang tidak diinginkan. Bahan kimia yang digunakan tergantung macam proses dan macam bahan bakunya. Cara kimia ini meliputi tiga macam proses yakni:
- Proses Sulfat, proses ini termasuk proses basa (alkali) karena sebagai larutan pemasak dipakai NaOH. Tujuan pemanasan ini adalah melarutkan lignin sebagian dan zat lainnya. Setelah terjadi proses pemasakan, lignin dan komponen lainnya dipisahkan dengan pencucian dan penyaringan.
 - Proses Soda, proses ini termasuk proses alkali dimana sebagian bahan bakunya digunakan NaOH yang berfungsi melarutkan lignin, karbohidrat, asam organik sehingga selulosa terlepas dari ikatannya.
 - Proses Sulfit, proses ini merupakan larutan pemasak kalsium, magnesium, ammonia atau sodium bisulfit yang mengandung kelebihan sulfur dioksida atau asam sulfit. Tahap yang dilakukan pada proses ini adalah tahap pemasakan (terjadi pemutusan rantai lignin dan selulosa), tahap pencucian (proses pencucian larutan pemasak dari proses pemasakan), tahap *bleaching* (pemutihan untuk meningkatkan kemurnian).
3. Secara semi kimia, proses ini merupakan gabungan dari proses kimia dan mekanik. Untuk memisahkan serat dipakai daya kimia, sedangkan yang tak hancur menggunakan proses mekanik.



Gambar 7. Skema Proses Delignifikasi

Sumber: [21]

2.4 Bio-oil

Bio-oil merupakan bahan bakar berwarna coklat tua, serta bau asap yang khas. Bio-oil adalah campuran kompleks dari beberapa ratus senyawa organik, termasuk asam, alkohol, aldehida, ester, keton, fenol, dan oligomer turunan lignin. Beberapa senyawa ini secara langsung berhubungan dengan sifat yang tidak diinginkan dari Bio-oil. Sifat yang tidak diinginkan dari Bio-oil sebagai bahan bakar antara lain kadar air yang tinggi, viskositas, abu, kandungan oksigen, dan korosi. Karena sifat-sifat yang tidak diinginkan ini, Bio-oil tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar transportasi. Sifat bahan bakar dari Bio-oil dapat ditingkatkan dengan mengadopsi strategi seperti *hydrotreating*, *thermal cracking*, penambahan / esterifikasi pelarut, dan reformasi uap [22]. Untuk penyusun kimia dan properti fisika dan kimia dari *Bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik *Bio-oil*

Indikator	Penjelasan
Penampilan/rupa	<i>Bio-oil</i> biasanya cairan biru tua. Berdasarkan bahan baku dan tipe <i>fast pyrolysis</i> yang dipakai, warna yang ditampilkan bisa menjadi hitam sampai coklat kemerah-merahan atau hijau tua.
Bau	Cairan memiliki bau khusus, berbau asap tajam yang dapat mengiritasi mata jika terbuka terhadap udara luar untuk waktu yang lama
Kandungan air	Cairan mengandung kandungan air yang berbeda, yang berbentuk campuran fasa tunggal yang stabil. Biasanya kandungannya sebesar 15-30% berat, tergantung dari cara memproduksi cairan.
Densitas	Densitas dari cairan sangat tinggi yaitu 1,2 kg/L dibandingkan dengan bahan bakar cair ringan yang sekitar 0,85 kg/L
Viskositas	Viskositas dari bio-oil bervariasi dari yang terendah yaitu 40 cp hingga yang tertinggi, 100 cp. Viskositas berguna pada beberapa aplikasi bahan bakar.
Pengaruh waktu	Perubahan waktu menyebabkan meningkatnya viskositas, menurunnya volatilitas, dan deposisi serta fasa separasi getah dapat terjadi.

Sumber: [23]

2.4.1 Pemurnian Bio-oil

Bio-oil hasil *thermal cracking* perlu dilakukan proses pemurnian, dimana proses ini menentukan jenis bio-oil yang dihasilkan. Proses pemurnian bio-oil yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi proses adsorpsi-distilasi

2.4.1.1 Adsorpsi Menggunakan Zeolit Aktif

Zeolit merupakan bagian dari sekelompok mineral yang merupakan hasil dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Struktur khas dari suatu zeolit yaitu hampir sebagian besar merupakan kanal dan pori. Hal ini yang menyebabkan pori memiliki luas permukaan yang besar. Luas permukaan zeolit dapat diperbesar dengan melakukan aktivasi [22].

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor anorganik. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+ [22].

Zeolit mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) selektif yang tinggi yang membuatnya cocok untuk pemakaian yang beragam dalam menghilangkan zat pengotor. Zeolit aktif digunakan untuk mendapatkan asap cair yang benar-benar bebas dari zat berbahaya seperti benzopiren [24].

Zeolit mempunyai struktur cekung yang dapat membuat senyawa tar dan *benzo(a)pyrene* hasil *thermal cracking* pelepah kelapa sawit terjebak di dalam rongga zeolit ketika melewati filter zeolit aktif [25].

2.4.1.2 Distilasi

Distilasi adalah proses pemisahan komponen dari suatu campuran dengan menggunakan dasar bahwa beberapa komponen dapat menguap lebih cepat dari komponen lain. Ketika uap diproduksi dari campuran, uap tersebut lebih banyak berisi komponen-komponen yang bersifat volatil sehingga proses pemisahan komponen-komponen dari campuran dapat terjadi. Proses distilasi asap cair juga dapat menghilangkan senyawa yang tidak diinginkan yaitu senyawa tar dan hidrokarbon polisiklis aromatik (PAH) [26].

Cara distilasi asap cair yaitu dengan mendistilasi asap cair pada suhu yang dapat menguapkan senyawa tar sehingga dihasilkan senyawa distilasi total asap cair bebas tar [27]. Pemurnian asap cair dilakukan berdasarkan pada suhu didih masing-masing komponen dalam asap cair. Distilasi merupakan suatu cara untuk memisahkan

komponen volatil di dalam asap cair. Perbedaan titik didih pada senyawa fungsional asap cair seperti asam asetat, siringol, guaikol, glioksaldehid, glioksal, serta metilglioksal, dan senyawa karsinogen seperti tar dapat dipisahkan hingga sesuai dengan kadar standar untuk bahan bakar.

2.5 Biofuel

Biofuel diklasifikasikan menjadi bahan bakar primer dan sekunder. Bahan bakar primer termasuk kayu bakar yang digunakan untuk memasak. Biofuel juga diklasifikasikan ke dalam generasi yang berbeda berdasarkan sumber bahan baku yang digunakan untuk produksi biofuel. Biofuel generasi pertama dihasilkan dari tanaman pangan seperti jagung, tebu, lobak, dll. Bahan tersebut terlibat dalam produksi bioetanol atau biobutanol dengan fermentasi pati atau gula yang diperoleh dari tanaman pangan dan dalam produksi biodiesel dengan transesterifikasi minyak nabati. Masalah utama untuk biofuel generasi pertama adalah pangan yang bersaing dengan bahan bakar. LCA pada biofuel generasi pertama mengungkapkan bahwa dalam sebagian besar kasus terdapat perolehan energi negatif. Biofuel generasi kedua dihasilkan dari tanaman nonpangan seperti lignoselulosa yang terkandung didalam biomassa. LCA dari biofuel generasi kedua mengungkapkan bahwa ada peningkatan perolehan energi bersih. Ini menunjukkan keunggulan biofuel generasi kedua dibandingkan biofuel generasi pertama [28].

2.5.1 Biogasoline

Gasoline merupakan suatu campuran yang kompleks yang tersusun atas hidrokarbon rantai lurus 7 sampai 11 atom C dengan rumus kimia C_nH_{2n+2} . *Gasoline* / Bensin, tersusun dari hidrokarbon rantai lurus C_5 - C_{11} pada temperatur 30°C – 180°C . Berikut merupakan beberapa jenis bensin berdasarkan perbedaan bilangan oktan :

a. Bahan Bakar Bensin Jenis 88 (Premium)

Bahan bakar premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan jernih yang didalamnya terdapat kandungan oktan 88 dan menggunakan pewarna *dye* serta menghasilkan NO_x dan CO_x dalam jumlah banyak. Spesifikasi bahan bakar premium dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Bahan Bakar Bensin RON 88 (Premium)

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji (ASTM)
		Min	Max	
Angka Oktana Riset	RON	88	-	D 269
Stabilitas Oksidasi	menit	360	-	D 525
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05	D 2622/D 4294/D 7039
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013	D 3237
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7	D 4815/D 6839/D 5599
Distilasi				D 86
10% Vol. Penguapan	°C	-	74	
50% Vol. Penguapan	°C	75	125	
90% Vol. Penguapan	°C	-	180	
Titik Didih Akhir	°C	-	215	
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70	D 381
Washed Gum	Mg/100 ml	-	5	D 381
Tekanan Uap	kPa	45	69	D 5191/D 323
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	Kg/m ³	715	770	D 4052/D 1298
Sufur Merkaptan	% massa	-	0,002	D 3227
Penampilan Visual Warna		Jernih dan terang Kuning		

Sumber : [29]

b. Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Pertalite diluncurkan pada tanggal 24 Juli 2015, merupakan bahan bakar gasoline yang memiliki angka oktan 90 serta berwarna hijau terang dan jernih. Bahan bakar Pertalite memiliki kualitas yang lebih baik daripada bahan bakar Premium karena angka oktan pertalite yang lebih tinggi sehingga mampu menstabilkan knocking mesin kendaraan menjadi lebih optimal. Spesifikasi bahan bakar pertalite dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Bahan Bakar Bensin Jenis 90 (Pertalite)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	90	-
Stabilitas Oksidasi	menit	360	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
Kandungan Logam (Mangan (Mn), besi (Fe))	mg/l	Tidak terdeteksi	
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7
Distilasi			
10% Vol. Penguapan	°C	-	74
50% Vol. Penguapan	°C	88	125

90% Vol. Penguapan	°C	-	180
Titik Didih Akhir	°C	-	215
Residu	% vol	-	2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	Mg/100 ml	-	5
Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (Suhu 15°C)	Kg/m ³	715	770
Korosi bilah tembaga	menit	Kelas 1	-
Sufur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual		Jernih dan terang	
Bau		Dapat dipasarkan	
Warna		Hijau	
Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0,13

Sumber : [30]

c. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Pertamax Turbo merupakan bahan bakar bensin yang memiliki angka oktan 98 dan berwarna merah. Pertamax Turbo didesain untuk mesin berteknologi tinggi dengan minimum kompresi rasio 12:1 atau mesin kendaraan dengan *supercharger technology* dan *turbocharger technology*. Pertamax Turbo diformulasikan dengan *Ignition Boost Formula* yang membuat mesin lebih responsif pada pembakaran mesin dan membuat performa kendaraan menjadi sempurna. Spesifikasi pertamax turbo dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Bahan Bakar Bensin Jenis 98 (Pertamax Turbo)

Karakteristik	Satuan	Batasan	
		Min	Max
Angka Oktana Riset	RON	98	-
Stabilitas Oksidasi	menit	480	-
Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013
Kandungan Oksigen	%m/m	-	2,7
Kandungan Aromatik	% v/v	-	40
Kandungan Benzene	% v/v	-	5
Distilasi			
10% Vol. Penguapan	°C	-	70
50% Vol. Penguapan	°C	77	110
90% Vol. Penguapan	°C	130	180
Titik Didih Akhir	°C	-	205
Residu	% vol	-	2
Sedimen	mg/l	-	1
Unwashed Gum	mg/100 ml	-	70
Washed Gum	Mg/100 ml	-	5

Tekanan Uap	kPa	45	60
Berat Jenis (Suhu 15°C)	Kg/m ³	715	770
Korosi bilah tembaga	menit		Kelas 1
Uji Doctor			Negatif
Sufur Merkaptan	% massa	-	0,002
Penampilan Visual			Jernih dan terang

Sumber : [31]

Bahan bakar bensin memiliki jenis yang berbeda dan tentunya memiliki mutu atau perilaku (*performance*) yang berbeda. Mutu bensin dipergunakan dengan bilangan oktan (*Octane Number*). Nama oktan berasal dari oktana (C₈), karena dari seluruh molekul penyusun bensin, oktana yang memiliki sifat kompresi paling bagus. Bilangan Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Dengan besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin. *Knocking* ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus dihindari.

1. Nafta, hasil produk yang harus diolah Kembali karena sifatnya yang tidak dapat langsung digunakan dan proses pendapatan nafta ini berada pada suhu 110 °C – 195 °C.
2. *Kerosene*, salah satu komponen minyak mentah yang memiliki nilai karbon C₁₁-C₁₆ yang didapat pada suhu 170°C –290°C bahan bakar ini sering dikenal sebagai aviation turbin (avtur).
3. Minyak Diesel / solar, memiliki rantai karbon C₁₅-C₁₆ yang didapat pada suhu 260 °C–350 °C yang biasa dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan. Pelumas, zat kimia berbentuk cair yang dimanfaatkan untuk mengurangi gaya gesek dan sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang berhubungan yang tersusun dari rantai karbon C₁₅-C₂₄.
4. *Long Residu*, bahan hidrokarbon yang bersifat melekat dan berwarna hitam pekat, yang sering dikenal sebagai Asphalt yang digunakan sebagai pelapis jalan raya, produk ini tersusun dari rantai karbon C₂₅-C₅₀.

2.6 Pengujian Karakteristik Bahan Bakar Cair

2.6.1 Berat Jenis

Berat Jenis adalah perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada suhu tertentu terhadap air pada volume dan suhu yang sama. Umumnya, bahan bakar minyak memiliki *specific gravity* 0,74 – 0,96, dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Pada beberapa literatur digunakan *American Petroleum Institute (API gravity)*. *Specific gravity* dan *API gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan density (kerapatan) atau berat per satuan volume dari suatu bahan [32].

Tujuan dilaksanakan pemeriksaan terhadap berat jenis adalah untuk indikasi mutu minyak dimana semakin tinggi *API Gravity* atau makin rendah berat jenis maka minyak tersebut makin berharga karena banyak mengandung bensin. Sebaliknya semakin rendah *API Gravity* maka semakin banyak lilin. Minyak yang mempunyai berat jenis tinggi berarti minyak tersebut mempunyai kandungan panas (*heating value*) yang rendah.

2.6.2 Viskositas

Viskositas ialah penilaian dari kekebalan fluida yang disalin baik dengan tuntutan maupun tegangan. Lebih jelasnya, definisi viskositas ialah sebuah tingkatan kepekatan fluida yang bisa menjelaskan besar kecilnya suatu sentuhan dalam fluida. Kemudian, jika semakin besar viskositas dalam fluida maka akan bertambah sulit untuk bergerak dan juga akan bertambah sulit benda dapat bergerak di dalam fluida. Faktor-faktor yang mempengaruhi viskositas adalah sebagai berikut: tekanan, suhu, kehadiran zat lain, ukuran dan berat molekul, kekuatan antar molekul, konsentrasi larutan. Rumus Viskositas:

$$\eta \text{ dinamis} = k (\rho \text{ bola} - \rho \text{ minyak}) t \quad (1)$$

$$\eta \text{ kinematik} = \frac{\eta \text{ dinamis}}{\rho \text{ minyak}} \quad (2)$$

2.6.3 Titik Nyala (*flash point*)

Titik nyala (*flash point*) adalah titik suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada kondisi tertentu pada tekanan satu atmosfer. Titik nyala (*flash point*) merupakan faktor penting untuk keamanan terhadap kebakaran. Penentuan nilai titik

nyala ini juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan penanganan bahan bakar dan diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* [33].

2.6.4 Analisa Senyawa Kimia dengan Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)

GC MS (*Gas Chromatography-Mass Spectroscopy*) merupakan suatu instrumen yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah komponen dalam suatu senyawa, sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas [34]. Gas kromatografi merupakan pemisahan campuran menjadi konstituennya dalam fase gerak berupa gas yang melalui fase diam yang berupa sorben. Gas kromatografi dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan cara membandingkan waktu retensi dari komponen yang dianalisis dengan waktu retensi zat pembanding pada kondisi analisis yang sama. Sementara untuk analisis kuantitatif dilakukan dengan cara perhitungan relative dari luas puncak kromatogram komponen yang dianalisis terhadap zat baku pembanding yang dianalisis [34]. Metode analisis GC-MS adalah dengan membaca spektra yang terdapat pada kedua metode yang digabung tersebut. Pada spektra GC jika terdapat bahwa dari sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel. Selanjutnya adalah dengan memasukkan senyawa yang diduga tersebut ke dalam instrumen spektrometer massa. Hal ini dapat dilakukan karena salah satu kegunaan dari kromatografi gas adalah untuk memisahkan senyawa-senyawa dari suatu sampel. Setelah itu, didapat hasil dari spektra spektrometri massa pada grafik yang berbeda. Informasi yang diperoleh dari kedua teknik ini yang digabung dalam instrumen GC/MS adalah tak lain hasil dari masing-masing spektra. Untuk spektra GC, informasi terpenting yang didapat adalah waktu retensi untuk tiap-tiap senyawa dalam sampel. Spektra MS, bisa diperoleh informasi mengenai massa molekul relatif dari senyawa sampel tersebut.

2.7 LCA

LCA mulai dikembangkan secara sederhana pada tahun 1970-1980an dan saat ini LCA telah memiliki standar internasional. Awal studi LCA Yang dilakukan antara tahun 1969-1972 membahas tentang kemasan dan manajemen limbah. Pada tahun 1973 ketika terjadi krisis minyak membuat LCA semakin berkembang karena ketertarikan terhadap LCA yang semakin tinggi.

LCA merupakan sebuah metode berbasis *cradle to grave* yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan daur hidup produk dimulai dari saat pengambilan bahan baku sampai dengan produk dimulai dari saat pengambilan bahan baku sampai dengan produk itu selesai digunakan oleh konsumen. LCA mulai dikenal secara luas sekitar 20 tahun yang lalu. Hal ini dapat terlihat dari penggunaan dan penerapan LCA pada berbagai bidang yang dilakukan oleh pihak pemerintahan dan swasta untuk pengambilan keputusan. Peningkatan aplikasi LCA terjadi dikarenakan adanya standar yang telah berlaku secara internasional.

Pada tahun 2006 telah diterbitkan dua standar baru terkait LCA, yaitu ISO 14040 dan ISO 14044. Kedua standar ini menggantikan empat standar yang telah ada sebelumnya, yaitu ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 dan ISO 14043:2000. Metode LCA dilakukan dengan melakukan identifikasi secara kuantitatif dari semua aliran input dan output dari sistem terhadap lingkungan dalam setiap tahap daur hidup (*life cycle*). Tahapan LCA dilakukan berdasarkan Principles and framework LCA yang ada pada ISO 14040:2006 yang terdiri dari 4 tahap, yaitu definisi tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope definition*), analisis inventaris input dan output (*life cycle inventory analysis*), penilaian dampak lingkungan dari semua input dan output (*life cycle impact assessment*), dan interpretasi hasil (*life cycle interpretation*). Pada praktiknya penyesuaian langkah yang ada dalam *framework* ISO tersebut dapat dilakukan sesuai dengan kondisi dan situasi yang ada.

Pengembangan LCA dipicu oleh berbagai pengembangan dan perkembangan masyarakat yang ada. Untuk mempermudah pemahaman dan penyebaran informasi hasil LCA yang dihasilkan untuk masyarakat maka dibuat berbagai penyederhanaan. Salah satu bentuk penyederhanaan LCA adalah *carbon foot print*. *Carbon foot print*

nantinya akan mengacu pada dampak pemanasan global yang merupakan salah satu dampak yang diperhitungkan dalam LCA. *Carbon foot print* adalah emisi gas rumah kaca yang menghubungkan dengan daur hidup sebuah produk yang ada di pasaran. *Carbon foot print* berfungsi sebagai informasi bagi masyarakat agar masyarakat dapat memilih produk yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat tercipta konsumsi dan produksi yang berkelanjutan.

Menurut, dalam penggunaan LCA terdapat empat pilihan utama untuk menentukan batas-batas sistem yang digunakan berdasarkan standar ISO 14044 didalam sebuah studi LCA:

1. *Cardle to grave*: termasuk bahan dan rantai produksi energi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya.
2. *cardle to gate*: meliputi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi (proses dalam pabrik), digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk.
3. *Gate to grave*: meliputi proses dari penggunaan pasca produksi saja, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari produk tersebut setelah meninggalkan pabrik.
4. *Gate to gate*: meliputi proses dari tahap produksi saja, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari langkah produksi atau proses.

Studi LCA membutuhkan dan mengenai input dan outpur seluruh proses secara lengkap, meliputi bahan baku, proses pembuatan, distribusi, transportasi, konsumsi, hasil samping, dan dampak lingkungan agar mendapatkan hasil yang memuaskan dalam studi. LCA dapat berfungsi sebagai alat untuk perencanaan strategis, pembuatan kebijakan publik, pemasaran serta pengembangan dan peningkatan produk (ISO 2006a).