

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

Batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, dan oksigen sebagai unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk *ash* tersebar sebagai partikel zat mineral terpisah - pisah di seluruh senyawa batubara. Beberapa jenis batubara meleleh dan menjadi plastis apabila dipanaskan, akan tetapi meninggalkan suatu residu yang disebut kokas. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair atau dihidrogenasikan untuk membuat metan. Gas sintetis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan jalan gasifikasi sempurna dari batubara dengan oksigen dan uap atau udara dan uap (*Elliott*, 1981). Gambar 3.1 merupakan batubara golongan *antrasit*.



Sumber : aswinsalam.blogspot.com, 2013

Gambar 3.1
Batubara Antrasit

3.1 Genesa Batubara

Proses pembentukan batubara terdiri dari beberapa tahapan tahapan sebagai berikut :

3.1.1 Pembentukan Gambut

Tahap ini merupakan tahap awal dari rangkaian pembentukan batubara (*coalification*) yang ditandai oleh reaksi biokimia yang luas. Selama proses penguraian tersebut, protein, kanji dan selulosa mengalami penguraian lebih cepat bila dibandingkan dengan penguraian material berkayu (lignin) dan bagian tumbuhan yang berlilin (kulit ari daun, dinding spora, dan tepung sari). Karena itulah di dalam batubara muda masih terdapat ranting, daun, spora, biji, dan resin, sebagai sisa tumbuhan. Bagian-bagian tumbuhan itu terurai di bawah kondisi aerob menjadi karbondioksida, air, dan amoniak. Proses ini disebut proses pembentukan humus (*Humification*) dan hasilnya berupa gambut (*Peat*).

3.1.2 Pembentukan Lignit

Proses terbentuknya gambut berlangsung tanpa menutupi endapan gambut tersebut. Di bawah kondisi yang asam, dengan dibebaskannya H_2O , CH_4 dan sedikit CO_2 , terbentuklah material dengan rumus $C_{65}H_4C_{30}$ atau *ulmin* yang pada keadaan kering akan mengandung karbon 61,7%, hidrogen 0,3%, dan oksigen 38%.

Dengan berubahnya topografi daerah sekelilingnya, gambut menjadi terkubur di bawah lapisan lanau (*silt*) dan pasir yang diendapkan oleh sungai dan rawa. Semakin dalam terkubur, semakin bertambah timbunan sedimen yang menghimpitnya sehingga tekanan pada lapisan gambut bertambah serta suhu naik dengan jelas. Tahap ini merupakan tahap kedua dari proses pembentukan batubara atau yang disebut tahap *metamorfik*.

Penutupan rawa gambut memberikan kesempatan pada bakteri untuk aktif dan penguraian dalam kondisi basa menyebabkan dibebaskannya CO_2 deoksigenasi dari ulmin, sehingga kandungan hidrogen dan karbon bertambah. Tahap kedua dari proses pembentukan batubara ini adalah tahap pembentukan lignit, yaitu batubara peringkat rendah yang mempunyai rumus $C_{79}H_{5,5}O_{14,1}$. Dalam keadaan kering, lignit mengandung karbon 80,4%, hidrogen 0,5%, dan oksigen 19,1%.

3.1.3 Pembentukan Batubara Subbitumen

Tahap selanjutnya dari proses pembentukan batubara adalah perubahan batubara bitumen peringkat rendah menjadi batubara bitumen peringkat pertengahan dan peringkat tinggi. Selama tahap ketiga, kandungan hidrogen akan tetap konstan dan oksigen turun. Tahap ini

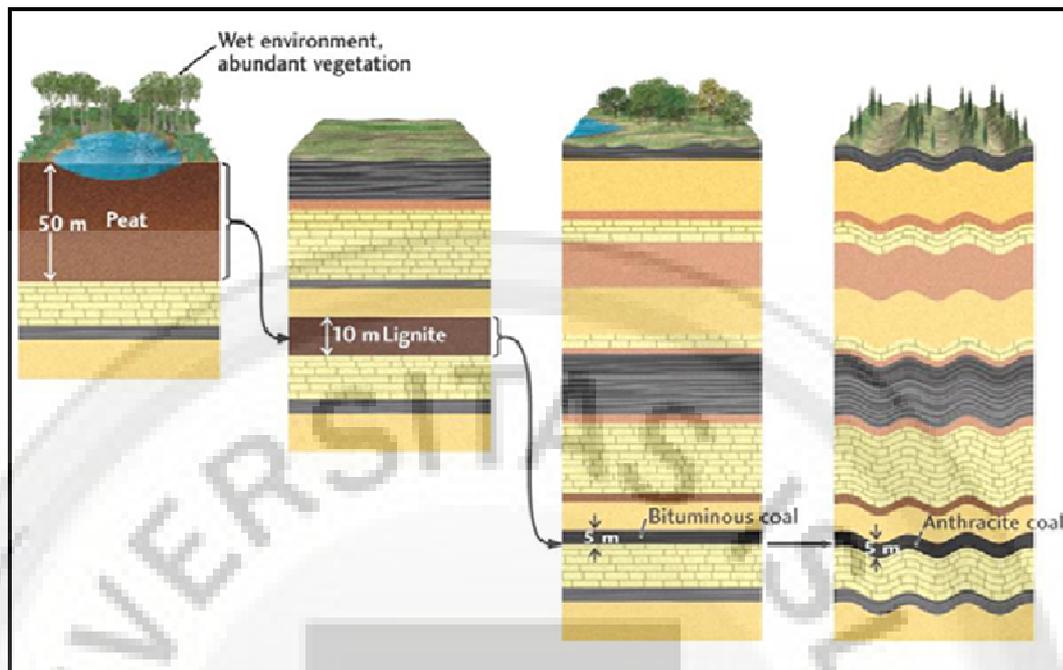
merupakan tahap pembentukan batubara Subbitumen (*Sub-bituminous Coal*)

3.1.4 Pembentukan Batubara Bitumen

Dalam tahap keempat atau tahap pembentukan batubara bitumen (*Bituminous coal*), kandungan hidrogen turun dengan menurunnya jumlah oksigen secara perlahan-lahan, tidak secepat tahap-tahap sebelumnya. Produk sampingan dari tahap ketiga dan keempat ini adalah CH_4 , CO_2 , dan H_2O .

3.1.5 Pembentukan Antrasit

Tahap kelima adalah *antrasitisasi*. Dalam tahap ini, oksigen hampir konstan, sedangkan hidrogen turun lebih cepat dibandingkan tahap-tahap sebelumnya. Proses pembentukan batubara terlihat merupakan serangkaian reaksi kimia, kecepatan reaksi kimia ini dapat diatur oleh suhu dan atau tekanan. Secara skematis, proses pembentukan batubara dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Sumber : ayobelajargeologi.blogspot.com, 2013

Gambar 3.2
Skema Tahapan Pembentukan Batubara

3.2 Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

ASTM (*American Society for Testing and Material*) membagi batubara kedalam peringkat berdasarkan pada kandungan karbon padat dalam *dry mineral matter free (dmmf)* dan nilai kalor dalam *moisture mineral matter free (mmf)* menjadi lignit, bituminus dan antrasit dapat dilihat pada tabel 3.1. Sedangkan sistem internasional atau UN-ECE (*United Nations-European Economic Community*) membagi batubara kedalam jenis *brown coal* dan *hard coal* berdasarkan kandungan zat terbang dalam *dry ash free (daf)*, nilai kalor dan sifat *caking* batubara seperti *free swelling index*, *roga index*, *dilatasi* dan *gray king assay*.

Tabel 3.1
ASTM Specifications For Solid Fuels

Class	Group		Fixed carbon	Volatile matter	Heating values
	Name	Symbol	Dry %	Dry %	Dry basis (Kcal/kg)
I. Anthracite	meta-anthracite	ma	> 98	>2	7740
	anthracite	an	92-98	2.0-8.0	8000
	semianthracite	sa	86-92	8.0-15	8300
II. Bituminous	low-volatile	lvb	78-86	14-22	8741
	medium volatile	myb	89-78	22-31	8640
	high-volatile A	lvAb	<69	>31	8160
	high-volatile B	lvBb	57	57	6750 - 8160
	high-volatile C	lvCb	54	54	7410 - 8375
					6765 - 7410
III. Subbituminous	subbituminous A	subA	55	55	6880 - 7540
	subbituminous B	subB	56	56	6540 - 7230
	subbituminous C	subC	53	53	5990 - 6860
IV. Lignite	lignite A	ligA	52	52	4830 - 6360
	lignite B	ligB	52	52	<5250

Sumber : Kirk-Othmer, Volume 6

Batubara peringkat rendah atau lignit mempunyai nilai kalor <4611 kkal/kg (*dmmf*), dan *brown coal* dengan nilai kalor <5700 kkal/kg (*mmf*) dengan *refleksi vitrinit* > 0,4.

Sebagaimana diketahui bahwa berdasarkan kepada kandungan maseralnya, batubara dibagi menjadi tiga group besar, yaitu *fitrinit*, *eksinit*, dan *inertrinit*. Sebagai parameter untuk pembagian batubara berdasarkan *rank*, digunakan *refleksi fitrinit*. Hal ini karena kenaikan yang linier terhadap *rank*. *Rank* batubara berdasarkan petrografi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2
Rank Batubara Berdasarkan petrografi

Class	Vitrinit Mean Random Reflectance	Carbon Content of Vitrinite	Equivalent Classe	
			ASTM	UN-ECE
Lignite	< 0,40	< 75	Lignite A/B	12 - 15
Sub-Bituminus	0,40 – 0,50	75 - 85	Sub-Bituminous A/B/C	10 - 11
Low Rank Bituminus	0,51 – 1,00	80 - 85	High Volatrilie Bituminous A/B/C	6 - 9
medium Rank Bituminus	1,01 – 1,5	85 - 89	Medium Volatile Bituminous	4 - 5
High Rank Bituminus	1,51 – 2,00	89 - 91	Low Volatile Bituminous	3
Semi Anthracite	2,01 – 2,50	91 - 93	Semi Anthracite	2
Anthracite	> 2,5	> 93	Anthracite	0 - 1

Sumber : American Society for Testing and Material, 1993

3.3 Karakteristik Batubara Peringkat Rendah

Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan *inherent moisture* (air lembab) yang cukup tinggi, yaitu antara 30% sampai 45%, selain itu juga mempunyai nilai zat terbang yang tinggi pula dan kandungan oksigennya lebih besar pula bila dibandingkan dengan batubara bituminus, sedangkan kandungan abu dan belerang bervariasi.

Struktur fisik molekul batubara peringkat rendah mempunyai cincin *aromatic cluster* satu sampai tiga, yang mempertinggi nilai karbon *hidroaromatic* dan *alifatic*. Cincin *aromatic* pada batubara peringkat rendah mengandung 50% sampai 75% karbon, sedangkan pada bituminus 85%, dan antrasit 100%.

Struktur fisik molekul oksigen grup fungsional terikat dalam ikatan hidrogen dan *moisture* sebagai komponen struktural. *Moisture* terikat secara lepas pada permukaan pori-pori makro. Selain itu hidrogen juga diikat dengan kuat dalam batubara oleh ikatan hidrogen berupa kapiler pada pori-pori mikro. Ikatan hidrogen dapat berjumlah 20% dari *moisture*, batubara peringkat rendah apabila dipanaskan akan menjadi kering, hal ini cenderung meningkatkan *friability* sehingga kekerasan/kekuatan berkurang.

Oksigen dalam batubara peringkat rendah tergabung dalam gugus karboksil, fenol, eter, metoksil dan grup fungsional karbonil. Di sini gugus karboksil sangat berperan yaitu sekitar 20% sampai 50% dari total oksigen yang dapat ditukar dengan ion-ion alkali, alkali tanah dan unsur runutan (*trace element*).

— Belerang dan nitrogen pada batubara peringkat rendah terdapat pada struktur *aromatic* dan *alifatic*. Batubara ini mengandung 60% sampai 80% *alifatic* belerang yang akan berkurang dengan naiknya *rank*. Salah satu contoh batubara peringkat rendah (Sub-bituminus) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Sumber : <http://lauwtjunji.weebly.com>, 2013

Gambar 3.3

Batubara Subbituminus

Batubara peringkat rendah sangat reaktif pada kondisi oksidasi reduksi pada temperatur tinggi. Oksigen yang tergabung dalam grup fungsional selama transformasi termal, misalnya dekarbonisasi akan meningkatkan produksi beberapa radikal bebas. Mudahnya memproduksi radikal bebas ini yang menyebabkan batubara peringkat rendah sangat reaktif. Reaksi pada kondisi *ambient* akan memberikan pengaruh terhadap resapan *moisture* dan oksigen sehingga dapat terjadi pembakaran spontan.

Batubara peringkat rendah memiliki sifat *non-agglomerating* yang cenderung *non-caking* sehingga batubara peringkat rendah tidak dapat dibuat kokas. Batubara peringkat rendah apabila dipanaskan hanya akan menghasilkan semi kokas (*char*) pada karbonisasi konvensional. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat karakteristik dari tiap jenis batubara.

Tabel 3.3
Susunan Unsur Gambut, Lignit, Batubara Subbitumen, Bitumen dan Antrasit

	Karbon	Volatille Matter	Caloric Value	Moisture
Gambut	60%	> 53%	16,8 MJ/kg	> 75% in situ
Lignit	61% - 71%	53% - 49%	23,0 MJ/kg	35% in situ
Subbitumen	71% - 77%	49% - 42%	29,3 MJ/kg	25% – 1-% in situ
Bitumen	77% - 87%	42% - 29%	36,3 MJ/kg	8% in situ

Sumber : Muchjidin, 2006

3.4 Analisis Batubara

Analisa batubara untuk bahan bakar dibagi menjadi dua golongan yaitu analisa proksimat (*moisture, ash, volatile matter, dan fixed carbon*) serta analisa ultimat (karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen)

3.4.1 Analisis Proksimat

Hasil dari analisa proksimat memberikan gambaran banyaknya senyawa organik ringan (*volatile matter*) secara relatif, karbon dalam bentuk padatan (*fixed carbon*), kadar air (*moisture*), dan zat anorganik (*ash*), hingga mencakup keseluruhan komponen batubara, yakni batubara murni ditambahkan bahan-bahan pengotornya (*impurities*).

a. Kandungan Air (*Moisture Content*)

Kandungan air (*Moisture Content*) dalam batubara terdiri atas dua jenis, yaitu *free moisture* dan *inherent moisture*. *Moisture* yang datang dari luar saat batubara itu ditambang dan diangkut atau terkena hujan selama penyimpanan disebut *free moisture* (standar ISO) atau *air-dry loss* (standar ASTM). *Moisture* jenis ini dapat dihilangkan dari batubara dengan cara

diinginkan atau dikering-udarkan. Semua batubara mempunyai pori-pori berupa pipa-pipa kapiler, dalam keadaan alami pori-pori ini dipenuhi oleh air, didalam standar ASTM, air ini disebut *moisture bawaan (inherent moisture)*. Semakin tinggi kandungan *inherent moisture* maka semakin rendah peringkat batubara tersebut.

Kandungan air total (*inherent moisture, free moisture*, dan air kristal maupun senyawa karbon) dapat memberikan efek merugikan. Dalam penggerusan, kelebihan kandungan air akan berakibat pada komponen mesin penggerus karena abrasi. Parameter lain yang terpengaruh oleh kandungan air adalah nilai kalor. Semakin besar kadar air yang terkandung oleh batubara maka akan semakin besar pula nilai kalor yang dibutuhkan dalam proses pembakaran.

b. Kandungan Abu (Ash Content)

Kandungan Abu didefinisikan sebagai zat organik yang tertinggal setelah sampel batubara dibakar (*incineration*) dalam kondisi standar sampai diperoleh berat yang tetap. Selama pembakaran batubara, zat mineral mengalami perubahan, karena itu banyak *ash* umumnya lebih kecil dibandingkan dengan banyaknya zat mineral yang semula ada didalam batubara. Hal ini disebabkan antara lain karena menguapnya air konstitusi (*hidratisi*) dan lempung, karbon dioksida serta karbonat, teroksidasinya pirit menjadi besi oksida, dan juga terjadinya fiksasi belerang oksida.

Abu merupakan komponen *non-combustible organic* yang tersisa pada saat batubara dibakar. Abu mengandung oksida-oksida logam seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO , yang terdapat didalam batubara.

Dalam pembakaran, semakin tinggi kandungan abu batubara, semakin rendah panas yang diperoleh dari batubara tersebut, selain itu semakin tinggi kadar abu, penanganan dan pembuangan *ash* hasil pembakaran akan semakin sulit.

c. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang (*Volatile matter*) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Zat terbang yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan, serta sebagian kecil uap yang dapat mengembun seperti tar, hasil pemecahan termis seperti karbon dioksida dari karbonat, sulfur dari pirit, dan air dari lempung.

Kandungan zat terbang (*volatile matter*) berhubungan erat dengan proses pematubaraan (*coalification*) dan dijadikan sebagai indeks klasifikasi batubara. Menurut klasifikasi ASTM, batubara bituminus diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Batubara dengan kandungan zat terbang rendah 14% - 22%
- b. Batubara dengan kandungan zat terbang sedang 22% - 31%
- c. Batubara dengan kandungan zat terbang tinggi diatas 31%

d. Kandungan Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Karbon tertambat (*Fixed Carbon*) menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. Karbon tertambat ini mewakili sisa penguraian dari komponen organik batubara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi.

H₂O. Selain dari karbon, mineral karbonat juga akan membebaskan CO₂ selama proses pembakaran batubara berlangsung, sedangkan H₂O diperoleh dari air yang terikat pada lempung. Analisa ini sangat penting untuk menentukan proses pembakaran, terutama untuk penyediaan jumlah udara yang dibutuhkan.

b. Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat sebagai senyawa organik. Tidak dikenal adanya mineral pembawa nitrogen dalam batubara, hanya ada beberapa senyawa nitrogen dalam air kapiler, terutama dalam batubara muda. Pada pembakaran batubara, nitrogen akan berubah menjadi nitrogen oksida yang bersama gas buangan akan bercampur dengan udara. Senyawa ini merupakan pencemar udara sehingga batubara dengan kadar nitrogen rendah lebih disukai. Dalam pembakaran pada suhu tinggi, nitrogen akan diubah menjadi NO_x yang merupakan salah satu senyawa pencemar udara.

c. Sulfur

Dalam proses pembakaran, sulfur dalam batubara akan membentuk oksida yang kemudian terlepas ke atmosfer sebagai emisi. Ada tiga jenis sulfur yang terikat dalam batubara, yaitu :

1. Sulfur organik, dimana satu sama lain terikat ke dalam senyawa hidrogen sebagai substansi dari batubara.
2. Mineral sulfida, seperti pirit dalam fraksi organik (*pyritic sulfur*).
3. Mineral sulfat, seperti kalsium sulfat atau *hidrous iron*.

Sulfur kemungkinan merupakan pengotor utama nomor dua (setelah *ash*) dalam batubara, karena :

1. Dalam batubara bahan bakar, hasil pembakarannya mempunyai daya korosif dan sumber polusi udara.
2. *Moisture* dan sulfur (terutama sebagai pirit) dapat menunjang terjadinya pembakaran spontan.
3. Semua bentuk sulfur tidak dapat dihilangkan dalam proses pencucian.

d. Oksigen

Oksigen merupakan komponen pada beberapa senyawa organik dalam batubara. Oksigen ini terdapat pula dalam *moisture*, lempung, karbonat, dan sebagainya. Oksigen juga memiliki peranan penting sebagai penunjuk sifat-sifat kimia dengan derajat pembentukan batubara.

Unsur oksigen dapat ditemukan hampir pada semua senyawa organik dalam batubara. Dalam batubara kering unsur oksigen akan ditemukan pada besi oksida, hidroksida dan beberapa mineral sulfat. Oksigen juga sebagai indikator dalam menentukan peringkat batubara.

3.5 Pemanfaatan Batubara Peringkat Rendah

Batubara peringkat rendah memiliki *inherent moisture* yang tinggi dan nilai kalor yang rendah, sehingga tidak ekonomis jika harus ditransportasikan pada jarak jauh, selain itu penanganan juga harus hati-hati untuk menghindari pembakaran spontan.

Prospek yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan batubara peringkat rendah terutama di Indonesia adalah sebagai bahan bakar langsung, seperti :

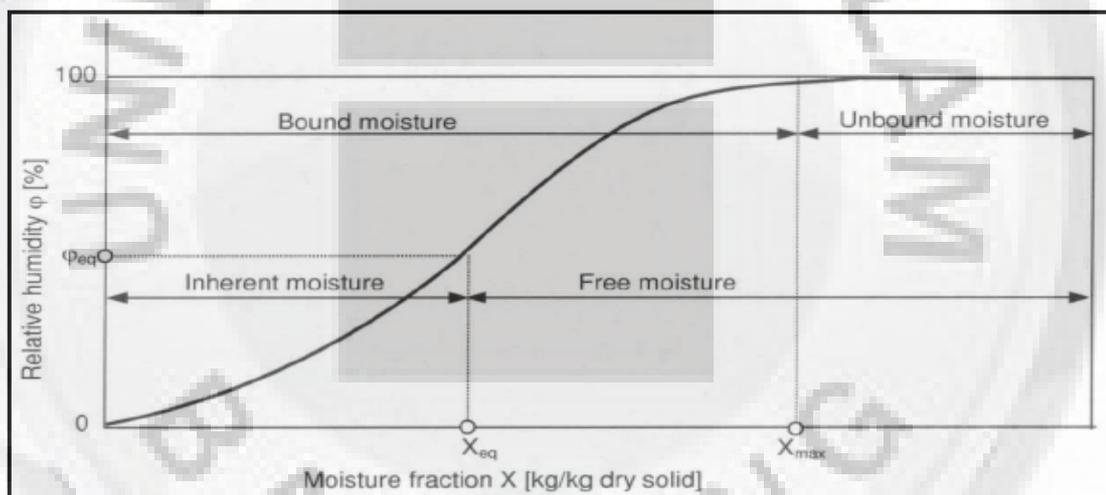
- a. sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)
- b. sebagai bahan bakar dan bahan baku pada pabrik semen
- c. sebagai bahan bakar industri kecil
- d. sebagai bahan baku briket
- e. pemanfaatan melalui proses konversi

untuk jangka panjang, jika bahan bakar minyak dan cadangan batubara peringkat tinggi semakin menipis, maka kemungkinan pemanfaatan batubara peringkat rendah dapat ditingkatkan melalui proses konversi, yaitu diubah bentuknya menjadi gas (melalui proses *gasifikasi*) atau cair (melalui proses *liquifikasi*) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar sintesis maupun bahan baku kimia.

3.6 Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah

Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kalor batubara kualitas rendah tersebut adalah dengan pengurangan kandungan air (pengeringan). Kandungan air padatan yang memiliki tekanan uap yang kurang dari tekanan uap jenuh pada temperatur padatan disebut sebagai *bound moisture*. Kandungan air tersebut terikat dalam ikatan kimia atau terjebak dalam struktur mikro padatan. Kelebihan kandungan air padatan selain *bound moisture* disebut sebagai *unbound moisture*. Ketika suatu padatan

basah dialiri dengan suatu gas, maka kandungan air dalam padatan tersebut akan berkurang hingga tekanan parsial air padatan sama dengan tekanan parsial uap dalam gas yang mengalir tersebut. Ketika kondisi tersebut tercapai, maka padatan dan gas dikatakan berada dalam kondisi setimbang, dan kandungan air padatan pada kondisi tersebut disebut sebagai *equilibrium moisture content* (X_{eq} dalam Gambar 2.4). Istilah yang umum digunakan untuk menyatakan besar X_{eq} tersebut adalah *inherent moisture*. *Free moisture* dalam Gambar 2.4 adalah kandungan air padatan selain *inherent moisture*.



Sumber : Tugas Akhir Arif Hadiya, 2008 *Upgrading*, ITB

Gambar 2.4

Ilustrasi Berbagai Jenis Kandungan Air Padatan

Pada saat ini batubara peringkat rendah dikeringkan pada saat penggerusan. Proses ini efektif jika batubara tersebut dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada penggunaan *boiler*, temperatur pemanasan sangat berpengaruh terhadap kecepatan pelepasan *moisture* yang akan mempengaruhi struktur pori.

Ada beberapa macam cara proses pengeringan seperti dibawah ini :

1. *Evaporasi*

Pengeringan batubara peringkat rendah dengan cara penguapan (*evaporative*) dilakukan menggunakan udara panas yang didapat sebagai hasil sirkulasi boiler. Kemungkinan masuknya moisture kedalam pori – pori cukup besar

2. *Hot – Water/ steam (non-evaporative)*

Pengeringan dilakukan pada temperatur dan tekanan tinggi, yaitu pada temperatur di atas 2300C dan tekanan 5,5 MPa. Pengeringan dengan cara ini masih dalam status percobaan skala plot yang dilakukan di Amerika Serikat dan Australia. Kerugian cara ini bila dibandingkan dengan cara evaporasi adalah diperlukannya tekanan yang tinggi yaitu di atas 3 Mpa. Keuntungannya adalah kualitas yang dihasilkan lebih baik karena batubara produk proses ini mengurangi *moisture* nya yang bersifat permanen.

Prinsip proses ini adalah temperatur dan tekanan yang tinggi akan merubah sifat – sifat kimia dan fisika dari batubara tersebut. Hal ini disebabkan karena timbulnya tar pada saat pemanasan yang akan menutup pori – pori batubara sehingga terjadi penurunan *equilibrium moisture* yang menyebabkan meningkatnya nilai kalor, selain itu grup – grup karbosil akan melepaskan gas CO₂, sehingga terjadi penurunan kandungan oksigen dan meningkatkan kadar karbon hingga ratio O/C bertambah kecil dan kation – kation pengganggu seperti Na⁺ dan Ca⁺ akan terekstraksi.

Hambatan utama dalam usaha pengurangan kandungan air batubara peringkat rendah adalah *equilibrium moisture content* batubara peringkat rendah dengan udara yang tinggi. Hal ini mengakibatkan tekanan parsial uap udara menjadi lebih tinggi daripada tekanan air batubara kering (bila batubara tersebut dikeringkan dengan pengeringan menggunakan udara panas biasa). Ketika batubara kering tersebut disimpan dalam suatu ruangan biasa, kandungan air batubara kembali bertambah karena batubara menyerap kandungan uap dalam udara ruangan untuk mencapai kesetimbangan. Dari hambatan penyerapan air kembali inilah kemudian muncul berbagai metoda untuk meningkatkan kualitas batubara peringkat rendah (*upgrading* batubara) dimana batubara yang dihasilkan tidak menyerap air kembali (*re-adsorpsi*).

3.7 Mekanisme Penurunan Kadar Air pada Batubara

Penurunan kadar air dalam batubara dapat dilakukan dengan cara mekanik atau perlakuan panas. Kadar air dapat dikurangi secara efektif dengan cara pemanasan. Proses pemanasan batubara sampai temperatur tertentu dapat menyebabkan terjadinya perubahan komposisi struktur batubara. Dengan memanaskan batubara, terjadinya perubahan kimia karena menguapnya air, dekomposisi gugus karboksil, penyusutan gas – gas hidrogen dan oksigen kompleks serta aromatisasi. Komposisi dan sifat produk akhir akan bervariasi tergantung pada temperatur pemanasan.

Pemanasan pada temperatur 100 – 200⁰C akan terjadi reaksi endometris (*Tsai,1992*). Adanya reaksi seperti diatas pada proses

pengeringan batubara tidak dikehendaki, oleh karena itu diperlukan suatu kondisi pemanasan yang *inert* maka reaksi harus berlangsung pada temperatur diatas 120°C .

Temperatur dekomposisi aktif, yaitu dimana material penyusun batubara terdekomposisi menjadi tar dalam proses penguapan air yang terjadi pada temperatur diatas 120°C (*seminar Nasional Kimia dan Proses, 2010*). Pemanasan batubara pada temperatur $>200^{\circ}\text{C}$ menyebabkan terjadinya penguapan air, tar, *hydrogen*, CO_2 , CO dan hidrokarbon.

Pirolisis atau yang sering disebut juga sebagai termolisis, didefinisikan sebagai suhu proses pembakaran tanpa oksigen, teori kimia pirolisis batubara menunjukkan langkah – langkah dekomposisi sebagai berikut :bila suhu dinaikkan maka ikatan karbon – karbon *alifatik* putus lebih dahulu. Reaksi ini mulai berlangsung pada suhu di bawah 200°C . Berikutnya, hubungan karbon – hidrogen putus pada suhu kurang lebih 600°C .

Dari ketiga tingkat temperatur pemanasan tersebut, maka untuk proses penguapan air secara yang tanpa diikuti terjadinya penguapan tar, *hydrogen*, CO_2 , CO dan hidrokarbon sebaiknya dilakukan pada kisaran temperatur 150°C .

Peningkatan kualitas batubara peringkat rendah secara evaporasi merupakan proses dimana batubara dipanaskan baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan uap panas sebelum atau selama proses penggilingan. Dengan cara ini, kandungan air mempunyai kecenderungan untuk kembali terserap oleh batubara. Pada proses pemanasan batubara dengan temperatur sekitar 150°C , pengeluaran tar dari

batubara belum sempurna sehingga perlu ditambah zat aditif sebagai penutup permukaan batubara seperti kanji, tetes tebu (*mollase*), residu dan minyak.

Proses evaporasi dengan perlakuan minyak setelah diproses penurunan kadar air, akan membantu kestabilan kadar air minyak akan menutupi pori – pori batubara dan melapisi permukaan batubara tersebut. Lapisan ini cukup kuat dan dapat menempel pada waktu yang cukup lama sehingga batubara dapat disimpan ditempat terbuka untuk jangka waktu cukup lama.

Evaporasi memberikan pengertian mengenai perpindahan massa uap melalui pengurangan air dari suatu bahan yang bersifat cair atau suspensi, sedangkan produk akhir berupa konsentrat. Sedangkan pengeringan adalah suatu proses pengurangan atau penurunan kadar air sampai tingkatan kadar air yang seimbang dengan udara bebas. Proses evaporasi merupakan proses yang melibatkan pindah panas dan pindah massa secara simultan. Penguapan terjadi karena cairan akan mendidih dan berlangsung perubahan fase dari cair menjadi uap (*Wirakartakusuma, Hermanianto dan Andarwulan, 1989*). Faktor dasar yang mempengaruhi evaporasi adalah (*Earle, 1969*) :

- a) Laju panas pada waktu dipindahkan ke bahan
- b) Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguap per satuan massa air
- c) Suhu maksimum yang diperkenankan untuk bahan cair
- d) Tekanan pada saat penguapan terjadi
- e) Perubahan lain yang mungkin terjadi didalam bahan selama proses penguapan berlangsung.

Dasar teori evaporasi ini adalah terjadinya penguapan air ke udara karena adanya perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang di evaporasi (Suharto, 1991). Adapun peristiwa yang terjadi selama proses evaporasi yaitu :

1. Proses perpindahan panas merupakan proses penguapan air dari dalam bahan, hal ini terjadi karena suhu bahan lebih rendah dari suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya.
2. Proses perpindahan massa merupakan proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara yang terjadi akibat adanya panas yang meningkatkan suhu bahan sehingga terjadi perbedaan tekanan uap air dalam bahan dan tekanan uap air di udara.

Selama proses pemanasan berlangsung akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan produk gas atau cairan yang banyak berhubungan dengan sistem pori – pori batubara. Kehilangan sejumlah massa bahan – bahan penyusunan batubara melalui pori – pori menyebabkan terjadinya kekosongan terhadap pori – pori tersebut. Oleh sebab itu sifat fisik yang memegang peranan penting pada proses pemanasan adalah porositas, porositas batubara dapat menyebabkan terjadinya difusi keluar uap air, metana dan zat lain yang mudah menguap dari selama terjadi pemanasan.

3.8 Pengenalan Minyak Sawit

Minyak sawit berasal dari buah pohon kelapa sawit (*Elaeis guineensis*), suatu spesies tropis yang berasal dari Afrika Barat, namun kini tumbuh sebagai hibrida di banyak belahan dunia, termasuk Asia Tenggara

dan Amerika Tengah. Minyak sawit menjadi minyak pangan yang paling banyak diperdagangkan secara internasional pada tahun 2007. Minyak yang relatif murah ini digunakan untuk berbagai tujuan. Permintaan dunia akan minyak sawit telah melonjak dalam dua dasawarsa terakhir, pertama karena penggunaannya dalam bahan makanan, sabun, dan produk-produk konsumen lainnya, dan belakangan ini sebagai bahan baku mentah bahan bakar nabati. Naiknya tingkat kemakmuran di India dan Cina, kedua negara importir terbesar di dunia, akan menambah permintaan akan minyak sawit dan minyak sayur yang dapat dimakan lainnya untuk berbagai kegunaan. Buah sawit adalah sumber bahan baku CPO (*Crude Palm Oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*). CPO dihasilkan dari daging buah sawit, sedangkan PKO dihasilkan dari inti buahnya.

— Produk-produknya antara lain:

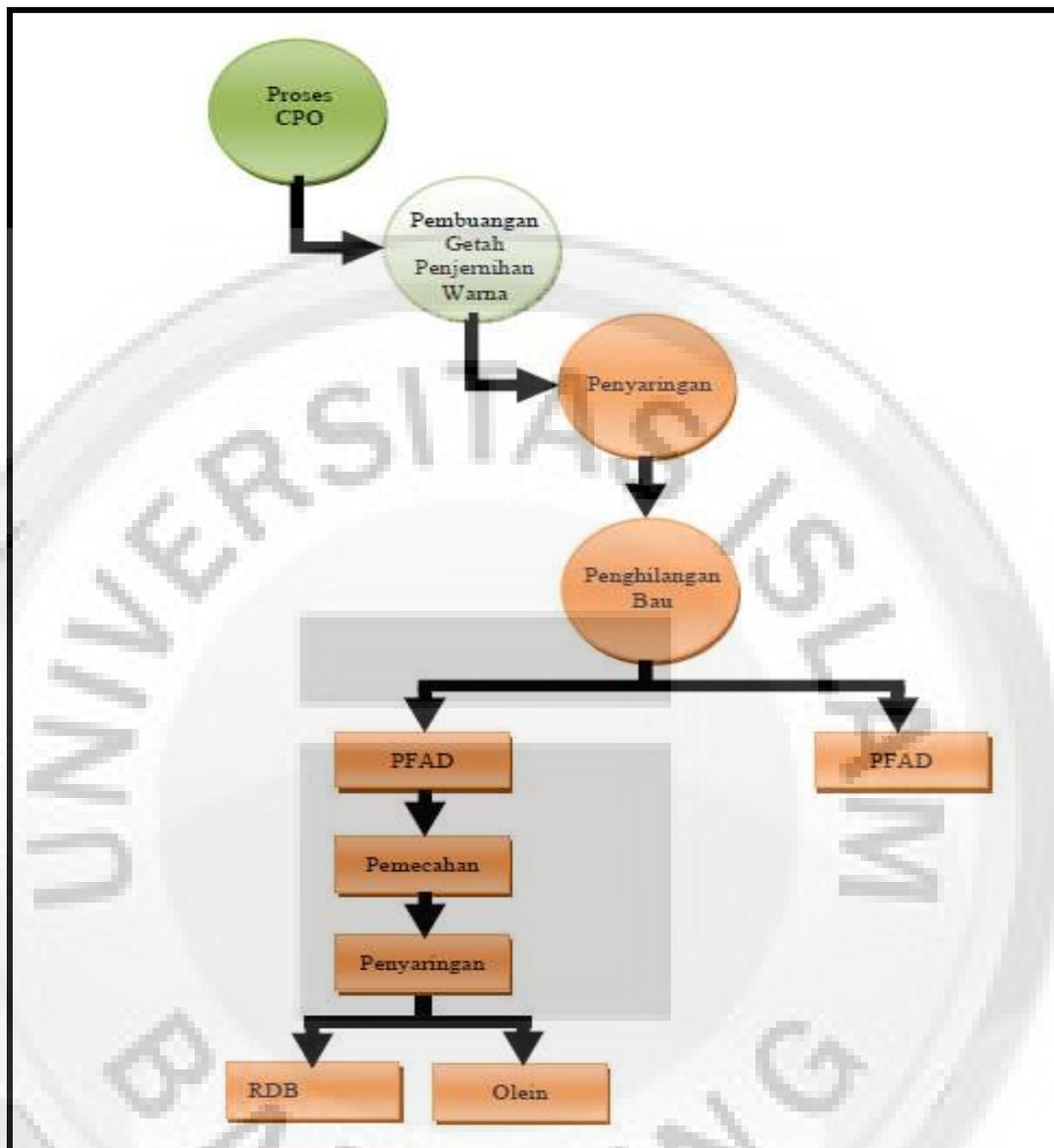
- Minyak Sawit Mentah Berkadar Asam Lemak Tinggi = minyak non-kelas pangan produk samping yang dihasilkan dari buah brondol dan tandan buah segar yang sudah terlalu matang.
- Minyak Kotor dan Minyak *Efluent* = Minyak dari proses sterilisasi, minyak sisa dalam air limbah dan minyak dari *Filter Press cake* atau *Decanter Sludge*.
- Distilat Asam Lemak Sawit (PFAD) = produk samping kelas rendah dari penyulingan CPO.
- SK = Serat Kosong dari proses Pabrik Minyak Sawit saat ini setelah memisahkan Biji Sawit.

- TKKS = Tandan Kosong Kelapa Sawit dari proses Pabrik Minyak Sawit saat ini setelah memisahkan Buah Minyak Sawit dari Tandan Buah di belakang thresher.
- Kulit Kelapa Sawit dari memecahkan biji kelapa sawit sebelum mengeluarkan Minyak Biji Kelapa, yang berguna sebagai bahan bakar biomassa padat
- Minyak Limbah Tangki Penyimpanan yang terkumpul di bawah kumparan pemanas.
- Minyak Jelantah dari restoran, hotel dan dapur besar
(sumber : *Buku Panduan Pabrik Kelapa Sawit Skala Kecil untuk Produksi Bahan Baku Bahan Bakar Nabati (BBN)*, Thomas B. Fricke, 2009, *United States Agency for International Development*)

3.9 Proses Penyulingan Minyak Kelapa Sawit

Proses penyulingan dikerjakan untuk penjernihan dan penghilangan bau atau RBDPO (*Refined, Bleached and Deodorized Palm Oil*). kemudian diuraikan lagi menjadi minyak sawit padat (*RBD Stearin*) dan untuk produksi minyak sawit cair (*RBD Olein*). Secara keseluruhan proses penyulingan minyak kelapa sawit tersebut dapat menghasilkan 73% olein, 21% stearin, 5% PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) dan 0.5% buangan.

Berikut ini bagan proses penyulingan minyak kelapa sawit dan pengolahan kelapa sawit. Dapat dilihat pada gambar 3.5.



Sumber: Pusat Data dan Informasi Departemen Perindustrian

Gambar 3.5
Alur Proses Penyulingan Minyak Kelapa Sawit

3.10 Palm Fatty Acid Distillate (PFAD)

PFAD merupakan hasil samping pemurnian CPO secara fisika, yaitu setelah tahap deguming, deasidifikasi, dan pengeringan sistem vakum. Komponen terbesar dalam PFAD adalah asam lemak bebas, komponen karotenoid, dan senyawa volatil lainnya. Secara umum proses pengolahan

(pemurnian) minyak sawit dapat menghasilkan 73% olein, 21% *stearin*, 5% *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD), dan 0,5% bahan lainnya. Pada umumnya PFAD digunakan industri sebagai bahan baku sabun ataupun pakan ternak. PFAD memiliki kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) sekitar 81,7%, *gliserol* 14,4%, *squalane* 0,8%, Vitamin E 0,5%, *sterol* 0,4% dan lain-lain 2,2%. Asam lemak yang terkandung dalam PFAD berupa asam lemak jenuh dan tidak jenuh. Secara umum asam lemak jenuh berwujud padat pada suhu kamar sedangkan asam lemak tidak jenuh berwujud cair. Komposisi asam lemak jenuh dan tidak jenuh dalam PFAD dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4

Komposisi Asam Lemak Jenuh dan Tak Jenuh dalam PFAD

Asam lemak	Rumus molekul	Komposisi (%) berat	Jenis asam lemak
Asam palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	45,6	Jenuh
Asam oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	33,3	Tak jenuh
Asam linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	7,7	Tak jenuh
Asam stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	3,8	Jenuh
Asam miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	1,0	Jenuh
Asam linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	0,3	Tak jenuh
Asam tetrakosenoat	$C_{24}H_{46}O_2$	0,3	Jenuh
Asam ekosanoat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,3	Jenuh
Asam ekosenoat	$C_{20}H_{38}O_2$	0,2	Tak jenuh
Asam palmitoleat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,2	Tak jenuh

Sumber : Ketaren (2005)