

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Batubara

Batubara merupakan bahan sedimen organik, padatan alami yang berasal dari akumulasi tumbuh-tumbuhan yang terjadi pada proses yang basah (*moist*) sehingga membentuk material yang disebut dengan gambut (*peat*) yang termampatkan. Kemudian terjadi, proses pengeringan dan perubahan tekstur serta komposisi yang disebabkan oleh proses diagenesis karena adanya pergerakan bumi (*tectonic activity*) dan pengendapan oleh lapisan yang ada di atasnya (Ward, C.R., 1984).

Secara sederhana, jika terjadi pemanasan batubara akan mengurai menjadi :

- Uap air.
- Zat terbang, yang terdiri dari :
 - Gas, yaitu hidrogen, CO, CO₂ dan hidrokarbon ringan
 - Cairan dari hidrokarbon yang lebih berat
 - Tar, yang terdiri dari senyawa hidrokarbon berat
 - Sisa arang (*char*), berupa padatan karbon.
 - Abu, yang terdiri dari mineral anorganik.

Menurut Ando J. (Edy Sarwani, dkk, 1997), perbedaan sifat batubara disebabkan adanya perbedaan sumber materialnya, lingkungan sewaktu pengendapannya, keadaan dan kondisi serta derajat perubahan dalam jenis, jumlah serta distribusi pengotornya (*impurities-nya*). Dipandang dari

substansinya, ada pula yang menyatakan batubara adalah senyawa kimia organik yang kompleks yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) serta sedikit nitrogen (N) dan belerang (S). Zat lainnya terdiri dari zat organik (mineral matter) yang tersebar secara terpisah-pisah di seluruh tubuh batubara. Oleh karena itu batubara yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan banyak mengandung cellulose.

3.1.1 Genesa batubara

Pembatubaraan (*coalification*) terjadi karena adanya tekanan dan temperatur yang tinggi dan berlangsung dalam selang waktu yang sangat lama. Batubara adalah batuan sedimen organoklastik yang berasal dari tumbuhan yang pada kondisi tertentu tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran sempurna. Pada umumnya proses pembentukan batubara terjadi pada zaman karbon yaitu sekitar 270 – 350 juta tahun yang lalu. Pada zaman tersebut yang terjadi di hutan rawa terbentuk batubara di belahan bumi Utara seperti Eropa, Asia dan Amerika. Di Indonesia batubara yang ditemukan dan di tambang umumnya berumur jauh lebih muda, yaitu terbentuk pada jaman Tersier. Batubara tertua yang ditambang di Indonesia berumur Eosen (40 - 60 juta tahun yang lalu) namun sumberdaya batubara di Indonesia umumnya berumur antara Miosen dan Pliosen (2 - 15 juta tahun lalu). Pengertian mengenai proses pembentukan batubara dan proses pengendapan batuan yang terjadi setelahnya merupakan faktor penting yang dapat membantu pemahaman mengenai teknik preparasi dan pencucian batubara yang kadang – kadang sulit dilakukan. (Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

A. Pembentukan Gambut dan Batubara.

Proses pembentukan batubara dari tumbuhan melalui dua tahap, yaitu:

- 1). Tahap pembentukan gambut (peat) dari tumbuhan, sering disebut proses *peafication*.
- 2). Tahap pembentukan batubara dari gambut, sering disebut *coalification*.

➤ Pembentukan Gambut.

Tumbuhan yang tumbang atau mati di permukaan tanah pada umumnya akan mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga setelah beberapa waktu kemudian tidak terlihat lagi bentuk asalnya. Pembusukan dari penghancuran tersebut pada dasarnya merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktivitas bakteri atau jasad renik lainnya (fungsi). Jika tumbuhan tumbang di suatu rawa, yang dicirikan dengan kandungan oksigen yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan bakteri aerob (bakteri yang memerlukan oksigen) hidup, maka sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga tidak akan terjadi proses oksidasi yang sempurna. Pada kondisi tersebut hanya bakteri – bakteri anaerob saja yang berfungsi melakukan proses dekomposisi yang kemudian membentuk gambut (*peat*). Daerah yang ideal untuk pembentukan gambut misalnya delta sungai, danau dangkal. Meskipun oksigen tidak tersedia dalam jumlah yang cukup, komponen utama pembentuk kayu akan juga teroksidasi menjadi H_2O , CH_4 , CO dan CO_2 . Gambut yang umunya

berwarna kecoklatan sampai hitam merupakan padatan yang bersifat porous dan masih memperlihatkan struktur tumbuhan asalnya. Proses pembentukan gambut biasanya juga disebut sebagai proses biokimia. Gambut umumnya masih mengandung lengas (*moisture*) yang tinggi, bisa lebih 50%.

➤ **Pembentukan Batubara**

Proses pembentukan gambut akan berhenti misalnya karena penurunan cepat dasar cekungan. Jika lapisan gambut yang telah terbentuk kemudian ditutupi oleh lapisan sedimen, maka tidak ada lagi bakteri anaerob, atau oksigen yang dapat mengoksidasi, maka lapisan gambut akan mengalami tekanan dari lapisan sedimen (Gambar 3.1). Tekanan terhadap lapisan gambut akan meningkat dengan bertambahnya tebalnya lapisan sedimen. Tekanan yang bertambah besar akan mengakibatkan peningkatan suhu. Disamping itu suhu juga akan meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Selain itu karena adanya lapisan sedimen, kenaikan suhu dan tekanan dapat juga disebabkan oleh aktivitas magma, proses pembentukan gunung, serta aktivitas-aktivitas tektonik lainnya. (Sudarsono S Arief ,Prof.Dr.Ir., 2003).



(Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

Gambar 3.1

Ilustrasi Hutan Pembentukan Batubara

Peningkatan tekanan dan suhu pada lapisan gambut akan mengkonversi gambut menjadi batubara di mana terjadi proses pengurangan kandungan lengas, perlepasan gas- gas (CO_2 , H_2O , CO , CH_4), peningkatan kepadatan dan kekerasan serta peningkatan nilai kalor. Faktor tekanan (P) dan suhu (T) serta faktor waktu (t) merupakan faktor – faktor yang menentukan kualitas batubara. Tahap pembentukan batubara ini sering disebut juga sebagai proses termodinamika.

Teori pembentukan batubara. Terdapat dua teori tentang akumulasi gambut baik mengenai ketebalannya maupun mengenai penyebarannya, yang kemudian memungkinkan terjadinya lapisan batubara yang ditemukan dan ditambang saat ini yaitu :

- a. Teori insitu yang menyatakan bahwa lapisan gambut terbentuk dari tumbuhan yang tumbang ditempat tumbuhnya, batubara yang terbentuk disebut batubara *autochtone*.

- b. Teori drift yang menyatakan bahwa lapisan gambut yang terbentuk berasal dari bagian-bagian tumbuhan yang terbawa oleh aliran air (sungai) dan terendapkan di daerah hilir (delta), batubara yang terbentuk disebut batubara *allochtone*.

Laju akumulasi gambut sangat tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- Faktor tumbuhan :Jenis, laju pertumbuhan, laju pembusukan
- Faktor tempat tumbuh :Kondisi, kesuburan
- Faktor cuaca

Hasil penyelidikan memperkirakan bahwa diperlukan waktu ± 100 tahun untuk menghasilkan gambut padat setebal 1 ft dari gambut lepas setebal 10 - 12 ft. Pada saat proses konversi dari gambut menjadi batubara terjadi pemampatan, dan lamanya laju pemampatan ini akan menghasilkan berbagai pada rank batubara. Jika diambil kayu sebagai basis (100%) untuk pembentukan gambut dan batubara, maka volume yang tersisa dalam % adalah :

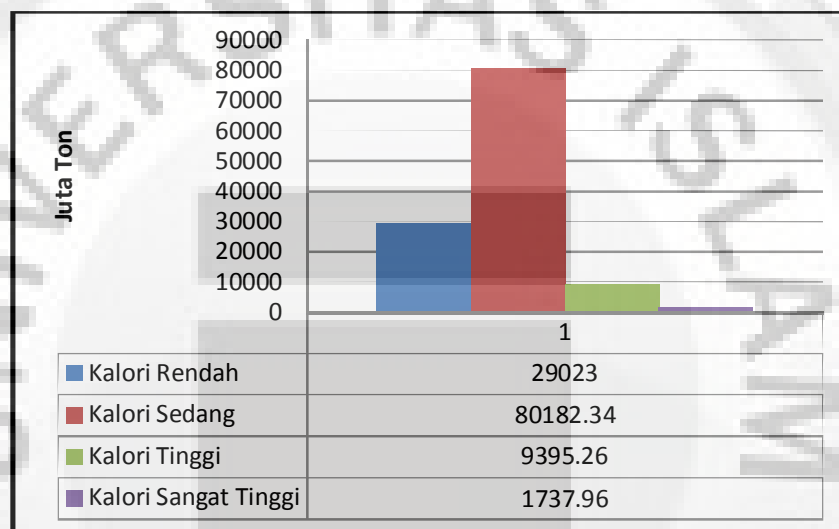
- Gambut : 28 – 45 %
- Lignit : 17 - 28%
- Bituminous : 10 – 17 %
- Anthrasit : 5 – 10 %

Dengan menggunakan data di atas maka waktu yang diperlukan untuk memperoleh batubara setebal 1 ft diperkirakan 160 tahun untuk lignite, 260 tahun untuk bituminus, dan 490 tahun untuk anthrasit. Sumberdaya batubara berdasarkan nilai kalor dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Sumber daya Batubara Indonesia Berdasarkan Kalori

Peringkat	Kalori (Kal/g)	Jumlah (ton)
Rendah	<5.100	2.9023
Sedang	5.100-6.100	80182,34
Tinggi	6.100-7.100	9395,26
Sangat Tinggi	>7.100	1737,96

(Sumber : *Badan Geologi, 2011*).



(Sumber : *Badan Geologi, 2011*).

Gambar 3.2

Sumber daya Batubara Indonesia Berdasarkan Kalori

3.1.2 Struktur Lapisan Batubara

Pada Gambar 3.1 menunjukkan bahwa lapisan batuan maupun lapisan batubara yang terbentuk relatif rata dan datar. Pada kenyataannya jarang sekali ditemukan lapisan batubara yang datar dan rata, hal ini disebabkan pada saat terbentuknya tidak hanya tekanan dan suhu saja yang mempengaruhi struktur lapisan batubara, banyak faktor geologi lainnya yang mempengaruhi pembentukan lapisan batubara. Faktor – faktor itu diantaranya perlipatan (*Folding*) dan sesar. (Sudarsono S Arief , Prof.Dr.Ir., 2003).

Lapisan batuan yang sering berasosiasi dengan lapisan batubara adalah lempung, lanau dan pasir yang masih bersifat lepas (*unconsolidated*) maupun batulempung, batulempung dan batupasir yang bersifat kompak (*consolidated*). Kadang – kadang juga ditemukan konglomerat atau batugamping. Lapisan batuan yang bersifat lepas umumnya berasosiasi dengan lignit dan kadang – kadang Subbituminus karena pengaruh tekanan dan temperatur masih rendah bila dibandingkan dengan batubara *rank* yang lebih tinggi di mana lapisan sedimen bersifat batuan akibat pengaruh tekanan dan suhu yang kuat.

Turunnya dasar cekungan rawa akan mengakibatkan banjir menutupi rawa, tumbuhan mati karena tertutupi lumpur, kemudian timbul danau baru atau bahkan laut baru. Dengan demikian pembentukan batubara bisa terjadi di lingkungan air tawar atau lingkungan air laut. Di daerah baru ini kemudian akan tumbuh tumbuhan baru. Batuan sedimen kemudian terbentuk di atasnya. Siklus ini dapat beberapa kali mengakibatkan terjadinya beberapa lapisan sedimen seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada umumnya permukaan tanah cenderung untuk tererosi dan terbawa aliran air (hujan) menuju lautan melalui sungai. Partikel halus umumnya berasal dari daerah dataran rendah akan terendapkan di daerah air tenang dan dangkal membentuk lempung. Lapisan batupasir dapat terbentuk dari material hasil pelapukan yang terbawa aliran air dangkal dari daerah yang tidak terlalu jauh, yang selanjutnya tertutupi endapan lainnya dan mengalami kompaksi. Sedangkan adanya lapisan batugamping menunjukkan proses pengendapan

terjadi di daerah air dalam atau lingkungan (marine) yang memungkinkan terbentuknya batugamping.

3.1.3 Variasi Ketebalan dan Penyebaran

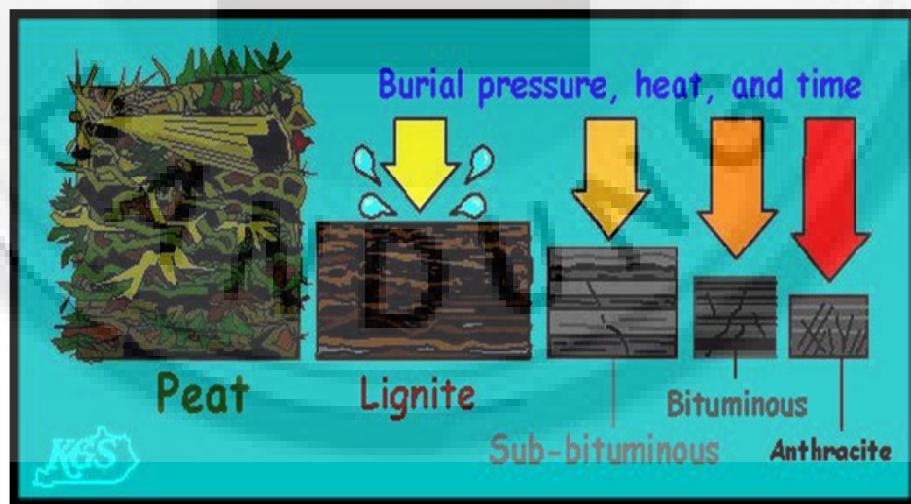
Lapisan batubara di suatu tempat selalu bervariasi ketebalannya yang kadang – kadang hanya pada jarak yang relatif pendek. Faktor utama yang menyebabkan variasi tersebut adalah kondisi cekungan tempat terbentuknya batubara. Pada cekungan yang luas variasi ketebalan lebih sedikit dibandingkan dengan cekungan yang lebih kecil, misalnya di daerah delta sungai. Demikian pula bentuk dasar cekungan pada awal sebelum lapisan batubara terbentuk dapat mempengaruhi variasi ketebalan lapisan batubara. Faktor lain adalah faktor kerapatan tumpukan tumbuhan yang akan membentuk gambut dan perbedaan tekanan dari lapisan sedimen di atas lapisan batubara, dan perbedaan aktivitas tektonik. (Sudarsono S Arief , Prof.Dr.Ir., 2003).

3.1.4 Variasi kualitas

Kualitas batubara bisa bervariasi secara vertikal. Mungkin saja terjadi kandungan abu batubara meningkat pada bagian bawah lapisan dan pada bagian atas kadar belerangnya meningkat. Hal ini disebabkan oleh pengendapan material yang terjadi bersamaan dengan proses akumulasi gambut. Variasi secara horisontal pada suatu lapisan batubara bahkan pada suatu tambang yang sama lebih sering ditemukan dan hal ini umumnya disebabkan oleh faktor – faktor yang mempengaruhi proses pembatubaraan seperti tekanan lapisan sedimen dan pengaruh aktivitas magma.

3.1.5 Partings

Lapisan batubara kadang – kadang disisipi oleh lapisan – lapisan batuan anorganik, umumnya serpih, lempung, batupasir. Secara umum sisipan lapisan tersebut disebut *parting*. Jika lapisan *parting* ternyata cukup tebal maka lapisan batubaranya disebut mengalami *parting*. *Parting* yang tipis disebut *band*, misalnya *clayband* atau *tonstein*. Pada umumnya *parting* terbentuk bersama – sama dengan pembentukan lapisan gambut misalnya jika pada saat terjadi sedimentasi material anorganik secara merata di seluruh cekungan. Sedangkan proses *splitting* terjadi antara lain karena proses penurunan cekungan (*subsidence*) yang tidak merata di seluruh cekungan sehingga ada bagian di mana proses regenerasi tumbuhan terhenti sementara di tempat lain masih berlangsung secara kontinyu. (Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).



(Sumber: wikipedia.com."Pembentukan Gambut"2014)

Gambar 3.3

Proses Pembentukan Batubara

3.2 Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

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. 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*.

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

Sebagaimana diketahui bahwa berdasarkan 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		
<i>Lignite</i>	< 0,40	< 75	<i>Lignite A/B</i>	12 - 15
<i>Sub-Bituminus</i>	0,40 – 0,50	75 - 85	<i>Sub-Bituminous A/B/C</i>	10 - 11
<i>Low Rank Bituminus</i>	0,51 – 1,00	80 - 85	<i>High Volatile Bituminous A/B/C</i>	6 - 9
<i>Medium Rank Bituminus</i>	1,01 – 1,5	85 - 89	<i>Medium Volatile Bituminous</i>	4 - 5
<i>High Rank Bituminus</i>	1,51 – 2,00	89 - 91	<i>Low Volatile Bituminous</i>	3
<i>Semi Anthracite</i>	2,01 – 2,50	91 - 93	<i>Semi Anthracite</i>	2
<i>Anthracite</i>	> 2,5	> 93	<i>Anthracite</i>	0 - 1

(Sumber : American Society for Testing and Material, 1993).

3.2.1 Karakteristik Batubara Peringkat Rendah

Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan *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 *hydroaromatic* 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. Disini 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 Subbituminus dapat dilihat pada (Gambar 3.4).



(Sumber : www.engineeringtoolbox.com, 2014)

Gambar 3.4
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	Volatile 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)

3.2.2 Pemanfaatan Batubara 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 dirubah bentuknya menjadi gas (melalui proses *gasifikasi*) atau cair (melalui

proses *liquifikasi*) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar sintetis maupun bahan baku kimia.

3.3 Analisis Kualitas Batubara dan Pemanfaatannya

Batubara adalah bahan bakar organik yang komposisinya sangat kompleks dan semakin menjadi kompleks dengan adanya mineral (anorganik) yang terjadi di dalamnya. Karena begitu kompleksnya, struktur molekul batubara tidak pernah dianalisis untuk keperluan perdanganan. Analisis tersebut tidak perlu dilakukan karena saat batubara dibakar proses terbentuknya panas dan reaksi kimia yang berlangsung ternyata sangat cepat dan drastis hingga para ahli yang mempelajari proses tersebut tidak berminat untuk mengamati struktur molekul batubara secara tepat.

Pada umumnya sistem dan analisis batubara dikembangkan secara luas untuk kepentingan perdanganan. Beberapa di antaranya bersifat mendasar dan hanya dilakukan untuk mengetahui hal – hal pokok unsur pembentukan batubara, misalnya untuk mengetahui kadar sulfur, karbon dan hidrogen yang ada di dalam batubara. Analisis lain yang bersifat lebih subyektif dan empirik, dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada saat batubara dipanaskan dengan kondisi yang berbeda – beda.

Mineral yang terdapat di dalam batubara tidak akan terbakar melainkan akan teroksidasi menjadi abu. Analisis komposisi abu sampai ke unsur – unsur pembentukannya biasanya dilakukan untuk mengetahui karakteristik abu pada saat pembakaran. Komposisi abu ini tidak diperlukan dalam operasi pencucian batubara. Komposisi abu harus sudah diteliti dengan seksama pada saat dilakukan perhitungan cadangan batubara, yaitu pada

tahap kegiatan eksplorasi. Analisis untuk mengetahui jenis mineral yang terdapat di dalam batubara sebagai sumber pembentuk abu juga bisa dilakukan tetapi hal ini juga harus sudah dilakukan pada saat kegiatan tahap eksplorasi. Yang perlu dipahami adalah pada saat batubara dibakar akan terjadi oksidasi mineral yang ada di dalam batubara menjadi oksida dan akhirnya membentuk abu.

Analisis kimia batubara merupakan proses pemilahan unsur atau material menjadi bagian – bagian pembentukannya, dan proses perhitungan kadar dari masing – masing unsur yang terkandung di dalam contoh batubara. Kegiatan analisis dilakukan di dalam laboratorium. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, mengingat struktur batubara yang sangat kompleks maka hasil analisis yang diperoleh harus diberi toleransi dengan mempertimbangkan kompleksnya struktur suatu batubara. (Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

3.3.1 Analisis Proksimat

Analisis umum yang dilakukan pada batubara, baik oleh perusahaan atau oleh pembeli disebut sebagai analisis proksimat (*proximate analysis*). Analisis proksimat ini cukup sederhana tetapi memerlukan peralatan yang khusus dan standar. Analisis proksimat terdiri dari empat nilai analisis yang dijumlahkan akan bernilai 100% yaitu :

- Kadar Lengas (*moisture*)
- Kadar abu (*ash*)
- Zat terbang (*volatile matter*)
- Karbon terhambat (*fixed carbon*)

Keempat nilai tidak dapat memberikan gambaran data mengenai struktur batubara tetapi sangat bermanfaat untuk mengetahui tingkat pemanfaatan batubara di dalam industri pengguna batubara. Analisis sederhana seperti ini digunakan untuk mengetahui pengaruh pemanasan batubara pada kondisi yang berbeda – beda, yaitu pada suhu tinggi dan suhu rendah, serta dengan atau tanpa udara.

Lengas yang terdapat di dalam batubara, dapat menempel di permukaan partikel batubara atau berada di dalam partikel batubara. Karena itu dikenal kadar lengas bebas (*free moisture*), kadar lengas *inherent* (*inherent moisture*), dan kadar lengas total (*total moisture*). Kehilangan berat yang terjadi setelah *sample* batubara yang diterima digerus sampai 3 mm, dan langsung dipanaskan di dalam tungku pada suhu antara 105C sampai 110C dinyatakan sebagai kadar lengas total. Lengas bebas (*free moisture*) biasanya akan terlepas ke udara apabila batubara dibiarkan di dalam suatu ruang pada suhu kamar, sampai terjadi kesetimbangan dengan kondisi udara di sekitarnya. Kehilangan berat selama *sample* ditempatkan di dalam ruang pada suhu kamar disebut lengas bebas.

3.3.1.1 Lengas Bebas (*free moisture*)

Lengas bebas terdapat di dalam batubara secara mekanik, pada permukaan dan di dalam *craks* serta pada lubang – lubang kapiler yang cukup besar, dan lengas bebas mempunyai *free moisture* tekanan uap normal. Kadar lengas bebas *free moisture* pada prinsipnya tergantung pada kondisi basah atau kering selama batubara terekspos saat penambangan, *benefisiasi*, *transfortasi*, *handling* dan *storage* serta pada distribusi ukuran

batubara, di mana batubara yang halus lebih banyak mengadorpsi lengas dibandingkan batubara yang kasar.

3.3.1.2 Kadar Lengas Lembab (*Inherent Moisture*)

Kadar lengas *inherent* diperoleh dari kehilangan berat yang terjadi setelah sampai batubara tanpa lengas bebas dipanaskan di dalam tungku pada suhu antara 105°C sampai 110°C. Secara fisik lengas *inherent* terdapat dalam struktur pori internal batubara dan mempunyai tekanan uap lebih rendah dari tekanan uap normal. Lengas *inherent* relatif tidak sensitif pada kondisi atmosfer. Kadar IM dapat dianggap sebagai karakteristik dasar dari batubara, pada umumnya kadar lengas *inherent* semakin tinggi dengan semakin rendahnya peringkat batubara dimana antrasit mengandung sekitar 1 - 2% IM, batubara *low volatile* bituminus mengandung 1 – 4% IM, batubara *high volatile* bituminus mengandung 5 - 10% IM, dan lignit mengandung IM di atas 45%.

3.3.1.3 Kadar Abu (*ash*)

Kadar abu suatu batubara secara sederhana didefinisikan sebagai residu anorganik yang terjadi setelah batubara dibakar (*complete incineration*) dan pengukuran kadar abu merupakan bagian dari analisis proksimat. Kadar abu dihitung dengan cara membakar sample batubara didalam tungku pada suhu 815°C dan mengalirkan udara secara lambat ke dalam tungku. Abu batubara terbentuk dari sisa pembakaran mineral – mineral yang terdapat di dalam batubara. Makin banyak mineral yang terdapat di dalam batubara maka kadar abunya juga akan makin tinggi. Salah satu tujuan operasi pencucian batubara adalah untuk menghasilkan

batubara dengan kadar abu yang rendah, artinya kadar mineral di dalam batubara diturunkan. Kadar abu ini seringkali dikaburkan dengan istilah mineral matter. Kedua istilah ini mempunyai perbedaan yang sangat kecil, umumnya kurang dari 10% berat. Tidak ada metode sederhana yang secara langsung bisa menentukan kadar mineral matter. Melalui analisis abu dan pengetahuan mengenai kompleksitas mineral – mineral yang terdapat di dalam batubara, maka dimungkinkan untuk memperkirakan kadar mineral matter dari kadar abu.

3.3.1.4. Zat Terbang (*volatile Matter*)

Zat terbang (*volatile Matter*) adalah bagian dari batubara yang menguap pada saat batubara dipanaskan tanpa udara (di dalam tungku tertutup) pada suhu 900°C. Zat terbang merupakan bagian dari batubara yang mudah menguap misalnya CH₄ atau hasil dari penguraian senyawa kimia atau dan campuran kompleks yang membentuk batubara. Untuk menganalisis kadar zat terbang, *sample* ditempatkan di dalam krusibel silika kemudian dimasukkan ke dalam tungku selama 7 menit. Setelah pemanasan akan tertinggal residu padat yang sebagian besar terdiri dari karbon dan mineral – mineral yang telah berubah, (Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

Analisis proksimat harus dilakukan dengan mengacu pada standar internasional, acuan yang banyak dipakai adalah :

- ISP 589 Hard coal – penentuan kadar lengas total
- ISO 1171 Solid mineral fuels – penentuan kadar abu
- ISO 562 Hard coal and coke – penentuan kadar zat terbang

Nilai keempat yang dihitung dalam analisis proksimat adalah karbon tertambat, yang diperoleh dari 100% dikurangi jumlah nilai kadar lengas, kadar abu dan zat terbang.

3.3.2 Analisis Ultimat

Jenis analisis batubara berikutnya yang bermanfaat terutama untuk menentukan kelas batubara adalah analisis ultimat. Analisis ini adalah cara yang paling sederhana untuk menunjukkan unsur pembentuk batubara dan dengan mengabaikan senyawa – senyawa kompleks yang ada dengan hanya menentukan unsur – unsur kimia pembentuknya yang penting. (Sudarsono S Arief ,Prof.Dr.Ir., 2003).

Dari sejumlah unsur – unsur pembentukan batubara, data kadar sulfur sangat diperlukan oleh para ahli pencucian batubara karena kadar sulfur sampai jumlah tertentu dapat dikontrol dalam suatu operasi pencucian batubara. Sebagian besar senyawa organik penyusun batubara terdiri dari karbon dan hidrogen. Jumlah nitrogen yang terdapat di dalam batubara biasanya jauh lebih rendah daripada unsur – unsur lain. Kadar oksigen biasanya dihitung dengan cara mengurangi 100% dengan jumlah persentase unsur – unsur yang lain. Senyawa organik pembentuk batubara terdiri dari 5 unsur utama berikut : Karbon (C), Hidrogen (H), Sulfur (S), Nitrogen (N), Oksigen (O), Fosfor (P).

Hasil dari analisis ultimat biasanya dipakai untuk menentukan kualitas dan jenis lapisan batubara selama penyelidikan cadangan batubara, sehingga batubara dapat dikelompokkan atas kelasnya atau keperluan teknis lainnya.

3.4 Proses Perlakuan Panas Pada Batubara

Proses perlakuan panas pada batubara adalah suatu proses pemanasan batubara sampai temperatur tertentu yang menyebabkan terjadinya perubahan komposisi dan struktur batubara (Syamsuddin Alhadis, 1996).

Dalam melakukan pemanasan pada batubara ada tiga daerah pemanasan yang berpengaruh terhadap terjadinya dekomposisi, yaitu pemanasan di bawah temperatur dekomposisi, daerah dekomposisi aktif dan pemanasan di atas temperatur dekomposisi aktif. Dekomposisi aktif disini adalah terkomposisinya mineral organik penyusun batubara menjadi tar pada penguapan air. Adanya perubahan-perubahan pada batubara selama pemanasan terjadi dalam beberapa tahap, yaitu :

- Selang 100°C - 150°C , merupakan reaksi endotermis penguapan air, dimana air yang menguap berupa air bebas, air sisa/terikat secara fisik dan air yang terjebak pada pori-pori struktur batubara.
- Selang 200°C - 300°C , terjadi sedikit perubahan eksotermis karena ikutnya panas pada saat pelepasan air sisa/terikat secara kimia (*Chemical Combined Water*), oksida karbon dan hidrogen.
- Selang 350°C - 460°C , reaksi endotermis dimana pada selang temperatur ini batubara mempunyai kecenderungan mengembang dan diikuti dengan terjadinya reaksi esterifikasi batubara (dekomposisi panas) yang ditandai dengan terjadinya penguapan zat terbang. Temperatur dimana terjadinya dekomposisi panas batubara disebut temperatur dekomposisi (T_d), yang terjadi pada temperatur 350°C .

Dalam hubungannya dengan penelitian ini, hanya ditinjau reaksi pelepasan air. Penelitian ini dilakukan pada temperatur antara 110⁰C, 150⁰C, 175⁰C dan 200⁰C, yang belum terjadi dekomposisi panas pada saat terjadinya sedikit perubahan pada reaksi endotermis dan eksotermis.

3.5 Kinetika Pengeringan Batubara

3.5.1 Pengeringan

Pengeringan adalah proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relative kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas. Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) normal atau setara dengan nilai aktivitas air yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatik dan kimiawi. Pengertian proses pengeringan berbeda dengan proses penguapan (evaporasi). Proses penguapan atau evaporasi adalah proses pemisahan uap air dalam bentuk murni dari suatu campuran berupa larutan (cairan) yang mengandung air dalam jumlah yang relatif banyak. Meskipun demikian ada kerugian yang ditimbulkan selama pengeringan yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta terjadinya penurunan mutu bahan.

Tujuan dilakukannya proses pengeringan adalah untuk :

1. Memudahkan penanganan selanjutnya
2. Mengurangi biaya transportasi dan pengemasan
3. Mengawetkan bahan
4. Meningkatkan nilai guna suatu bahan atau agar dapat memberikan hasil yang baik

Hal ini penting untuk menghindari proses pengeringan lampau dan pengeringan yang terlalu lama, karena kedua proses pengeringan ini akan meningkatkan biaya operasi. Metodologi dan teknik pengeringan dapat dikatakan baik apabila fenomena perpindahan massa dan energi pada proses pengeringan dapat dipahami.

3.5.2 Prinsip Dasar Pengeringan

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Proses perpindahan panas yang terjadi adalah dengan cara konveksi serta perpindahan panas secara konduksi dan radiasi tetap terjadi dalam jumlah yang relative kecil. Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida dengan cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan, sedangkan waktu proses pengeringannya ditetapkan dalam dua periode (Batty dan Folkman. 1984), yaitu :

1. Periode pengeringan dengan laju tetap (*Constant Rate Periode*)

Pada periode ini bahan-bahan yang dikeringkan memiliki kecepatan pengeringan yang konstan. Proses penguapan pada periode ini terjadi pada

air tak terikat, dimana suhu pada bahan sama dengan suhu bola basah udara pengering. Periode pengeringan dengan laju tetap dapat dianggap sebagai keadaan *steady*.

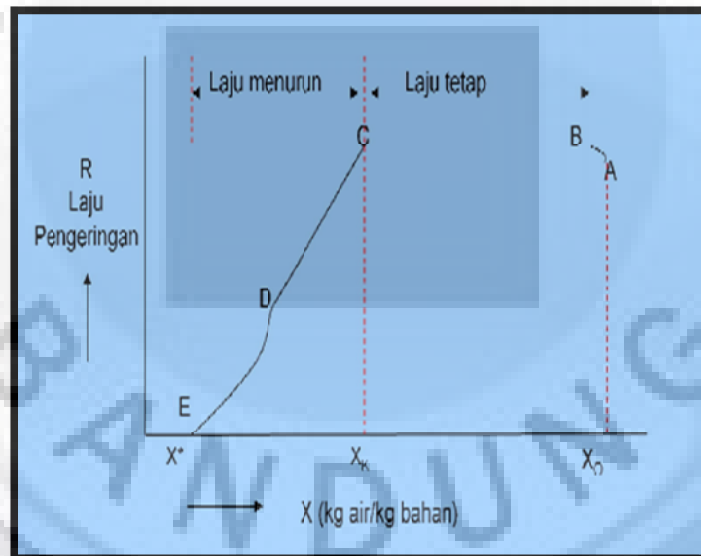
2. Periode pengeringan dengan laju menurun (*Falling Rate Periode*)

Periode kedua proses pengeringan yang terjadi adalah turunnya laju pengeringan batubara ($R=0$). Pada periode ini terjadi peristiwa penguapan kandungan yang ada di dalam batubara (*internal moisture*).

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas harus diberikan pada bahan, dan air harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa ke luar. Yang dimaksudkan dengan pindah panas adalah peristiwa perpindahan energi dari udara ke dalam bahan yang dapat menyebabkan berpindahnya sejumlah massa (kandungan air) karena gaya dorong untuk keluar dari bahan (pindah massa). Dalam pengeringan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum, oleh karena itu semua usaha dibuat untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa. Perpindahan panas dalam proses pengeringan dapat terjadi melalui dua cara yaitu pengeringan langsung dan pengeringan tidak langsung. Pengeringan langsung yaitu sumber panas berhubungan dengan bahan yang dikeringkan, sedangkan pengeringan tidak langsung yaitu panas dari sumber panas dilewatkan melalui permukaan benda padat (*converter*) dan konverter tersebut yang berhubungan dengan bahan. Setelah panas sampai ke bahan maka air dari sel-sel bahan akan bergerak ke permukaan bahan kemudian keluar.

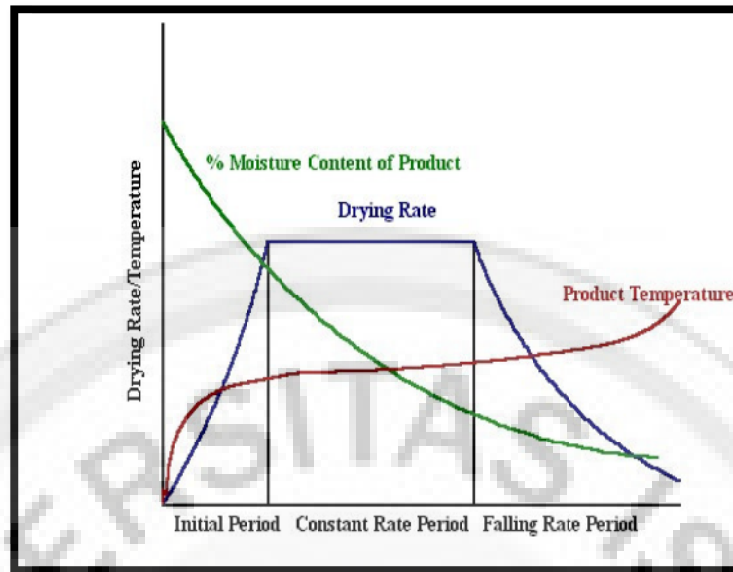
Mekanisme keluarnya air dari dalam bahan selama pengeringan adalah sebagai berikut:

1. Air bergerak melalui tekanan kapiler.
2. Penarikan air disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan disetiap bagian bahan.
3. Penarikan air ke permukaan bahan disebabkan oleh *absorpsi* dari lapisan-lapisan
4. Permukaan komponen padatan dari bahan.
5. Perpindahan air dari bahan ke udara disebabkan oleh perbedaan tekanan uap.



(Sumber : Batty dan Folkman, 1994)

Gambar 3.5
Kurva Peristiwa Proses Perpindahan Panas



(Sumber : Batty dan Folkman. 1994)

Gambar 3.6

Kurva Pengeringan Berdasarkan Batty dan Folkman, 1994.

Berdasarkan kurva pengeringan diatas, proses pengeringan dapat dibagi menjadi 3 tahap yaitu tahap pertama (*initial period*) adalah tahap penghilangan air bebas (*free moisture*). Pada tahap laju pengeringan bertambah dengan berjalannya waktu. Pada tahap kedua (*constant rate period*), pengeringan batubara berlangsung pada laju yang konstan dan suhu batubara hanya sedikit meningkat. Pada tahap ini energi panas yang dipakai untuk penguapan air pada permukaan batubara. Kurang lebih dibutuhkan 610 Kcal panas untuk menguapkan 1 kg air dari dalam batubara.

3.5.3 Faktor-faktor yang berpengaruh dalam kecepatan pengeringan

Proses pengeringan suatu material padatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas, perbedaan temperatur antara padatan dengan fluida panas, kecepatan aliran fluida panas serta tekanan udara. Berikut ini dijelaskan tentang faktor-faktor tersebut :

a. Luas Permukaan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dulu. Hal ini terjadi karena :

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar.
2. Partikel-partikel kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "Case Hardening", yaitu suatu

keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

c. Kecepatan Aliran Udara

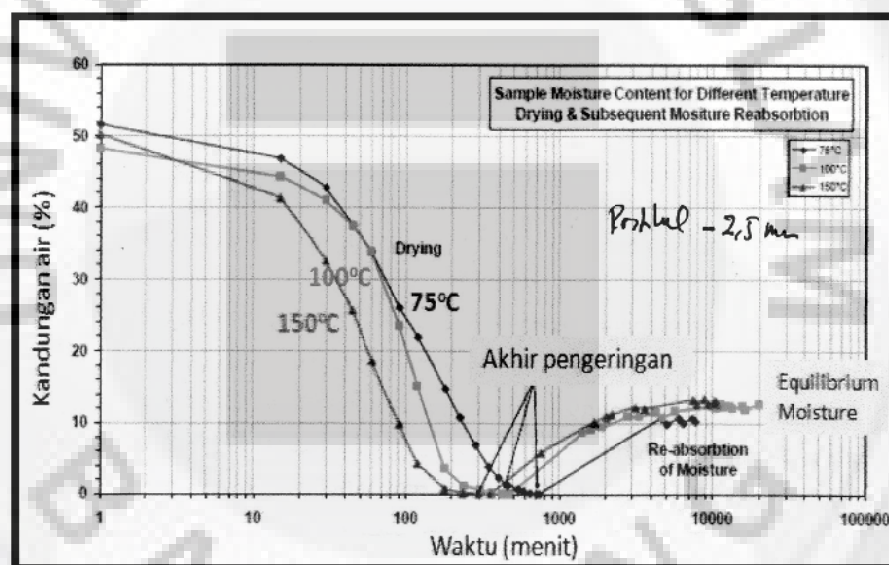
Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan material, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

d. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tetampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan. Densitas batubara dapat bervariasi yang menunjukkan hubungan antara *rank* dan kandungan karbon.

Pengeringan tahap ketiga dimulai setelah permukaan batubara paling luar sudah hampir kering. Pada tahap ini pengeringan berlangsung dengan laju yang semakin lambat karena jumlah permukaan batubara basah yang dapat kontak langsung dengan gas panas semakin lama semakin sedikit.

Uap air tahap ini berasal dari bagian dalam batubara dan bergerak keluar, batubara dengan menembus pori-pori yang ada. Oleh sebab itu pengeringan batubara pada tahap ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing batubara. Air dapat masuk kembali ke dalam batubara setelah proses pengeringan. Seberapa besar air dapat masuk kembali ke batubara dan apa saja faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat masuknya air ke dalam batubara harus diketahui untuk mendapatkan produk batubara kering yang diinginkan.



(Sumber : Karthikeyan, 2007).

Gambar 3.7
Contoh Kurva Pelepasan dan Penyerapan Kembali Air Pada Batubara Kaltim (Karthikeyan, 2007.)

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara waktu dan kadar air batubara dalam proses pengeringan pada suhu yang berbeda (75C, 110C, 150C) yang dilanjutkan dengan kurva penyerapan kembali (*moisture*) dalam suhu kamar 27C, dan kelembaban 80%. Semakin tinggi suhu semakin cepat waktu pengeringan. Kadar air batubara kering meningkat dari 0%

menjadi sekitar 10 - 13% setelah penyerapan kembali (*moisture*) dalam jangka waktu 2 sampai 4 hari. Kadar air batubara kering dibawah 10% agak sulit dilakukan tanpa memutus ikatan air dengan gugus fungsi yang ada dalam batubara. Pada batubara bituminus semua air yang dilepas saat pengeringan 100% kembali lagi ke batubara sementara itu pada batubara lignit hanya 30% dari air yang kembali ke batubara. Diperkirakan pori-pori dalam batubara bituminus berada dalam struktur yang sangat kuat karena proses pematubaraan (*coalification*) di alam sehingga pori-pori batubara bituminus tidak rusak selama proses pengeringan dan air dapat kembali lagi ke dalam pori setelah proses pengeringan.

Pengeringan batubara dapat menghasilkan produk dengan kadar air dibawah 10% bila dilakukan pada suhu lebih tinggi sehingga gugus fungsi karbosil yang ada dalam batubara terlepas. Walaupun suhu pengeringan menentukan jumlah *moisture* pada batubara kering tetapi dalam prakteknya suhu pengeringan diusahakan setinggi mungkin tetapi dalam batas-batas aman. Faktor lain yang paling penting dalam proses pengeringan batubara adalah waktu pengeringan. Dari faktor-faktor yang dipertimbangkan diatas dapat disimpulkan bahwa fitur yang diinginkan pengeringan termal adalah :

- a. Harus ada pasokan gas panas pada suhu sedikit di atas suhu kritis bahan yang akan dikeringkan.
- b. Harus ada metode sehingga terjadi kontak yang baik antara gas panas dengan material yang sedang dikeringkan.
- c. Waktu tinggal bahan dalam pengeringan secepat mungkin tetapi dengan penguapan air yang memadai. Peralatan pengeringan batubara

harus memiliki kemampuan untuk mengeringkan berbagai macam ukuran bahan tetapi tanpa menimbulkan kondisi pengeringan yang berlebihan atau sebaliknya.

- d. Peralatan pengeringan batubara harus mempunyai kapasitas yang besar.
- e. Peralatan pengeringan batubara harus mampu mempertahankan temperatur gas buang pada tingkat yang cukup tinggi untuk mencegah kondensasi dalam sistem.
- f. Peralatan pengering batubara harus mempunyai desain yang sederhana, mudah dioperasikan dan mudah diperbaiki bila terjadi kerusakan.

3.5.4 Kinetika Kimia

Kinetika kimia adalah suatu ilmu yang membahas tentang laju (kecepatan) dan mekanisme reaksi. Melalui penelitian mula – mula dilakukan oleh Wihelmy terhadap kecepatan inversi sukrosa, ternyata kecepatan reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi atau tekanan zat-zat yang bereaksi. Laju reaksi dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi atau tekanan dari produk atau reaktan terhadap waktu. Secara kuantitatif kecepatan reaksi kimia ditentukan oleh orde reaksi, yaitu jumlah dari eksponen konsentrasi pada persamaan kecepatan reaksi. (*Modul kimia Dasar Program Martikulasi, 2008*).

3.5.4.1 Perhitungan Reaksi Orde Nol

Pada reaksi orde nol tidak tergantung pada konsentrasi reaktan.

Persamaan laju reaksi orde nol dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} -\frac{dA}{dt} &= k_0 \\ A - A_0 &= -K_0 \cdot t \end{aligned}$$

A = Konsentrasi zat pada waktu t

A₀ = Konsentrasi zat mula-mula

T = Waktu

Contoh reaksi orde nol ini adalah reaksi heterogen pada permukaan katalis. Jika persamaan di atas di tulis dalam bentuk logaritma, maka akan didapat:

$$\ln K = \ln A - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Dengan membuat kurva ln K terhadap 1/T, maka nilai E_a/R didapat sebagai gradien dari kurva tersebut. Karena nilai R diketahui, maka nilai energi aktifitas dapat ditentukan. Besarnya energi aktifitas juga dapat ditentukan dengan menggunakan nilai - nilai k pada suhu yang berbeda.

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\ln \left(\frac{K_1}{K_2} \right) = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

atau

$$\log \left(\frac{K_1}{K_2} \right) = \frac{E_a}{2,303 \cdot R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

3.5.4.2 Perhitungan Reaksi Orde Satu

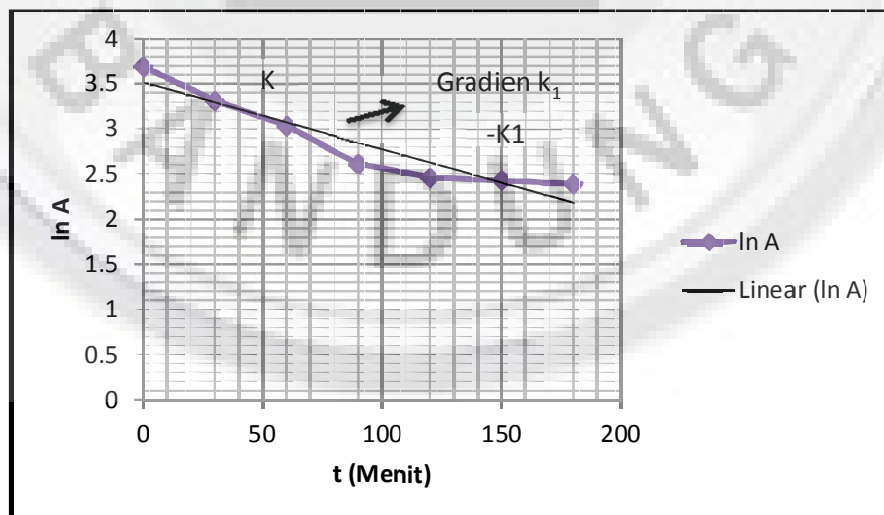
Pada reaksi orde satu, kecepatan reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi reaktan. Persamaan laju reaksi orde satu dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} -\frac{dA}{dt} &= k_1 [A] \\ \frac{-dA}{[A]} &= k_1 dt \\ \ln \frac{[A_0]}{[A]} &= k_1 (t-t_0) \end{aligned}$$

Bila $t = 0$ maka $A = A_0$

$$\begin{aligned} \ln [A] &= \ln [A_0] - k_1 t \\ [A] &= [A_0] e^{-k_1 t} \end{aligned}$$

Tetapan laju (k_1) dapat dihitung dari grafik $\ln [A]$ terhadap t dengan $-k_1$ sebagai gradien



(Sumber : Hasil Penelitian. 2014)

Gambar 3.8
Grafik antara $\ln A$ Terhadap Waktu Untuk Reaksi Orde Satu

Waktu paruh ($t_{1/2}$) adalah waktu yang dibutuhkan agar konsentrasi reaktan hanya tinggal setengahnya. Pada reaksi orde satu, waktu paruh dinyatakan sebagai:

$$K_1 = \frac{1}{t_{1/2}} = \ln \frac{1}{1/2}$$

$$K_1 = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

3.5.4.3 Perhitungan Reaksi Orde Dua

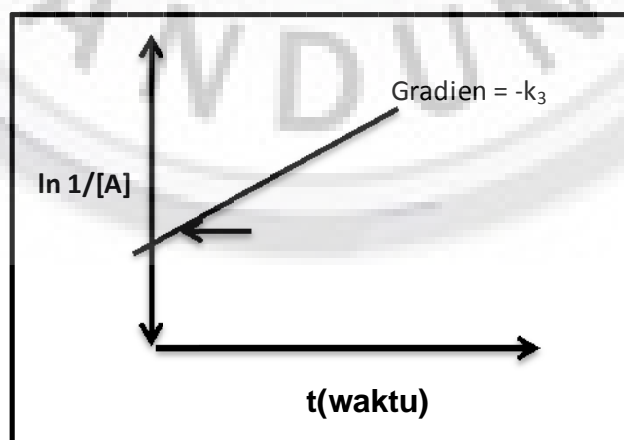
Persamaan laju reaksi untuk orde dua dinyatakan sebagai :

$$\frac{-dA}{dt} = K_2 [A]^2$$

$$\frac{-dA}{[A]^2} = K_2 t$$

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A_0]} = K_2 [t-t_0]$$

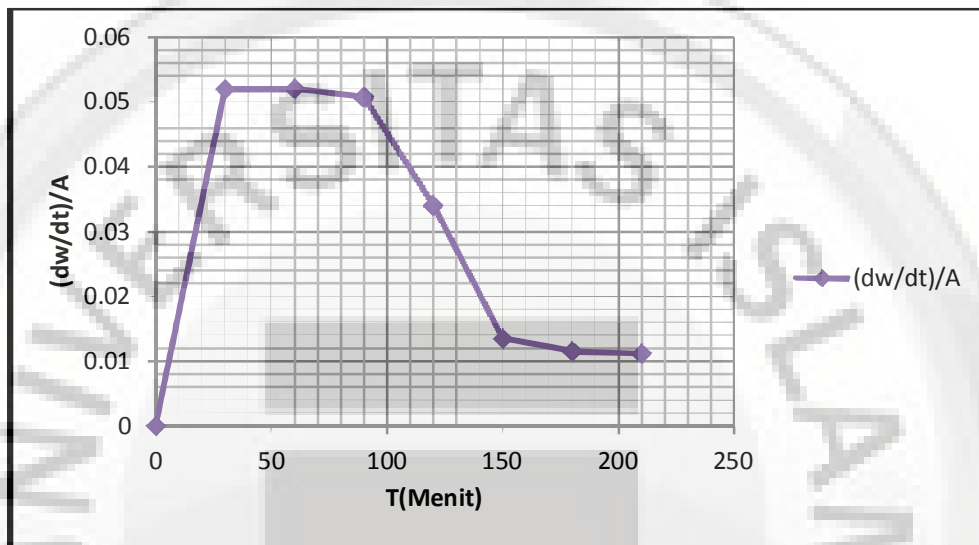
Tetapan laju (k_2) dapat dihitung dari grafik $1/A$ terhadap t dengan (k_2) sebagai gradiennya.



Gambar 3.9
Grafik antara $\ln 1/[A]$ Terhadap Waktu Untuk Reaksi Orde dua

Waktu paruh reaksi orde dua dinyatakan sebagai :

$$t_{1/2} = \frac{1}{k_2[A]_0}$$



(Sumber : Hasil Penelitian. 2014).

Gambar 3.10

Grafik Pengaruh Kecepatan [(dw/dt)/A] Pengeringan Terhadap Waktu

3.6 Pemanfaatan Batubara Sebagai Bahan Bakar

Batubara merupakan bahan bakar penting dalam berbagai macam industri, baik digunakan sebagai sumber energi (*steam coal*) untuk pembangkit tenaga listrik uap (PLTU), maupun untuk industri ekstraksi logam (penggunaan kokas metalurgi sebagai reduktor dalam industri baja), atau dipakai sebagai bahan baku untuk gas (*gasification*), bahan bakar cair (*liquefaction*), dan CWM (*coal water mixture*). Pada umumnya pemakaian batubara terbesar adalah sebagai sumber energi pada PLTU. Teknologi pembakaran batubara komersial untuk industri biasanya adalah jenis pulverisasi atau fluidisasi.

Pembangkit listrik besar ekuivalen dengan pembangkit berkapasitas lebih dari 600 MW, dengan kebutuhan batubara antara 2300 ton/jam sampai 3100 ton/jam. Saat ini, kebanyakan pabrik listrik berkapasitas super besar dan besar menggunakan boiler pembakaran *pulverisasi*. Isu utama teknologi pulverisasi adalah berkaitan dengan teknologi pengurangan dampak lingkungan, antara lain desulfurasi, denitrifikasi, pengurangan debu, dan pengolahan limbah air. Pemilihan teknologi pembakaran yang menjadi perhatian adalah burner yang dapat memperkecil NO_x .

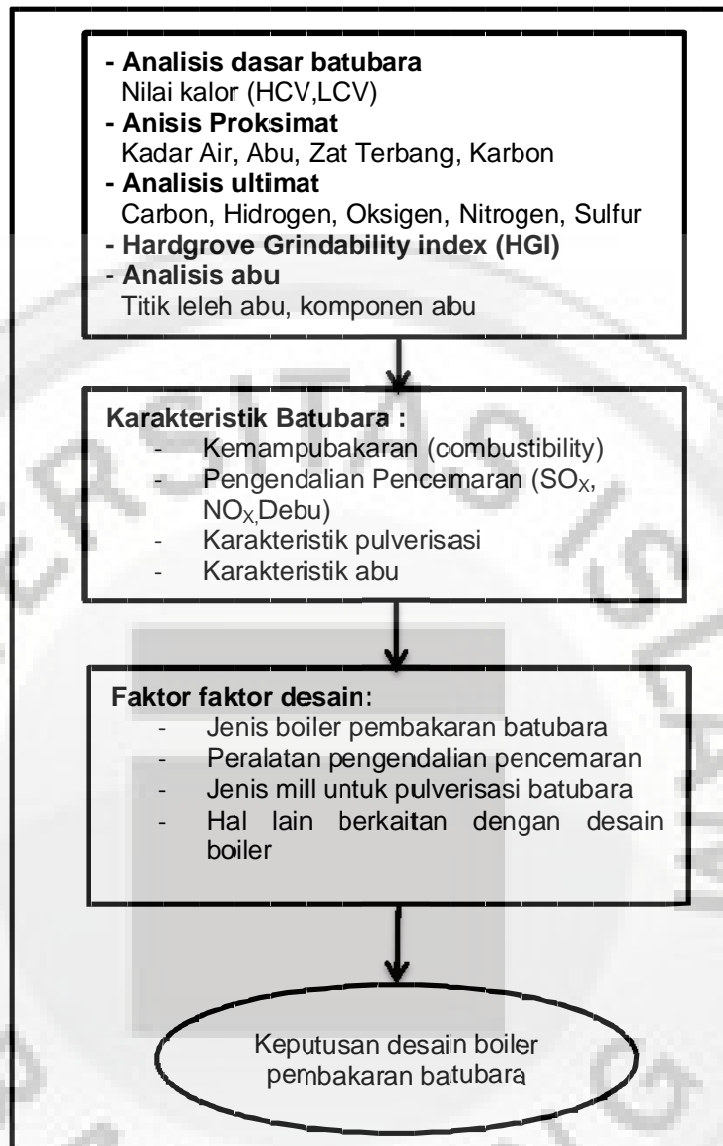
Pembangkit listrik kelas menengah dan kecil. Selain teknologi pembakaran batubara *pulverisasi*, teknologi pembakaran (*fluidized bed*) umumnya digunakan untuk pembangkit listrik kelas menengah dan kecil. Boiler jenis fluidasi dapat digunakan dengan rentang jenis batubara lebih besar dibandingkan dengan boiler pembakaran batubara *pulverisasi* skala besar. Operasi boiler *fluidisasi* tipe *bubbling* (sekitar 350 MW) telah digunakan pada beberapa pembangkit listrik.

Pada saat ini banyak pabrik semen yang memakai batubara sebagai sumber bahan bakar alternatif. Dalam pabrik semen, batubara tidak saja digunakan sebagai bahan bakar tetapi juga sebagai bahan baku dalam pembuatan semen. Oleh karena itu kualitas batubara yang tepat dan pemanfaatan batubara secara tepat sangat dibutuhkan dalam industri semen,

Untuk membangun pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara, hal terpenting yang harus diperhatikan adalah sifat dan gambaran batubara yang ditunjukkan oleh parameter kualitasnya yang digunakan. Pemilihan

teknologi pembakaran yang tepat didasarkan pada sifat batubara yang digunakan merupakan sesuatu yang penting untuk diketahui agar diperoleh proses pembakaran yang efisien dan teknologi yang ramah lingkungan. Faktor – faktor yang harus diperhatikan saat pemilihan teknologi pembakaran batubara untuk pembangkit listrik ditunjukkan pada Gambar 3.3.

Boiler untuk batubara peringkat rendah seperti batubara lignit dan subbituminus, tidak membutuhkan teknologi yang khusus dan dapat ditangani dengan mengkombinasikan teknologi yang telah ada. Meskipun demikian, ukuran boiler mau tidak mau harus besar sebagai akibat adanya masalah *slagging* dan nilai kalor yang lebih rendah. Pada batubara peringkat rendah dibutuhkan pula sistem pra-pengolahan batubara (*storage*, pengumpanan batubara dan *pulverisasi*). Kenaikan kadar air selama musim hujan dapat menimbulkan permasalahan dalam pengumpanan batubara dan sistem pulverizer sehingga penting sekali adanya pengaturan penyimpanan batubara yang baik.



(Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

Gambar 3.11

Kriteria Umum Pemilihan Teknologi Pembakaran Batubara

3.6.1 Reaksi Pembaran Batubara

Proses pembakaran akan berlangsung dengan baik jika tersedia udara dalam jumlah yang cukup. Proses pembakaran batubara merupakan ilmu yang kompleks karena adanya variasi kondisi fisika maupun kimia batubara, tetapi biasanya reaksi pembakaran digambarkan dengan reaksi oksidasi karbon menghasilkan karbon mono-oksida atau karbon dioksida :



Gas CO yang terbentuk dapat bereaksi dengan oksigen membentuk gas CO₂ sesuai reaksi :



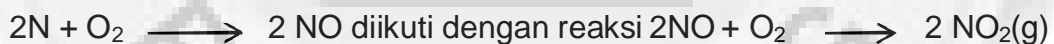
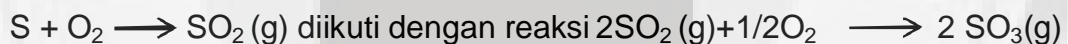
Gas CO₂ yang terbentuk dapat pula bereaksi dengan karbon membentuk gas CO



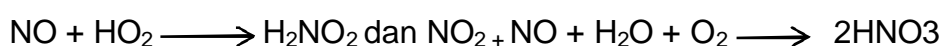
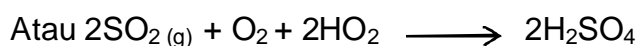
Dan reaksi pembentuk uap air :



Setelah ada nyala api, pembakaran batubara dimulai dari penguapan air, diikuti dengan zat terbang. Selain unsur hidrogen dan karbon, unsur – unsur lain yang terdapat di dalam batubara juga mengalami oksidasi, misalnya unsur sulfur (S) dan nitrogen :

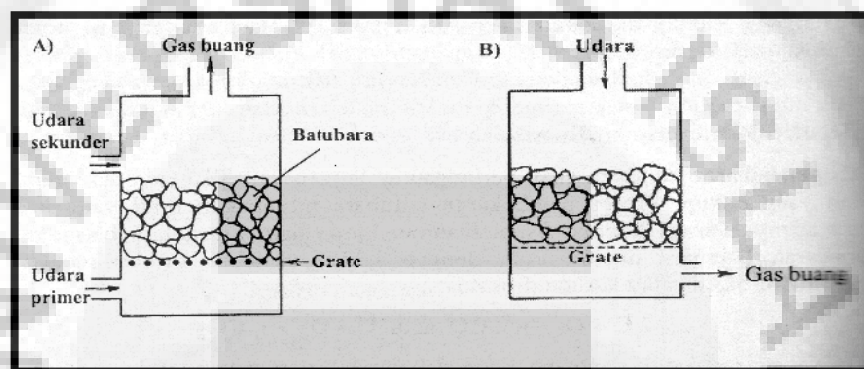


Adanya uap air di udara terbuka akan bereaksi dengan gas – gas hasil pembakaran membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang merupakan sumber terjadinya hujan asam. Reaksi – reaksi yang mungkin terlibat dalam pembentukan asam ini adalah :



Sistem Pembakaran batubara dikelompokkan atas 3 cara yaitu :

1. Unggun tetap (*fixed bed*), partikel dan udara bergerak secara *counter flow*
2. Unggun terfluidakan (*fluidized bed*) atau *pulverized bad*, udara dan partikel teraduk dengan baik
3. *Entrained bed*, partikel bergerak dengan cepat bersama dengan udara



(Sumber : Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

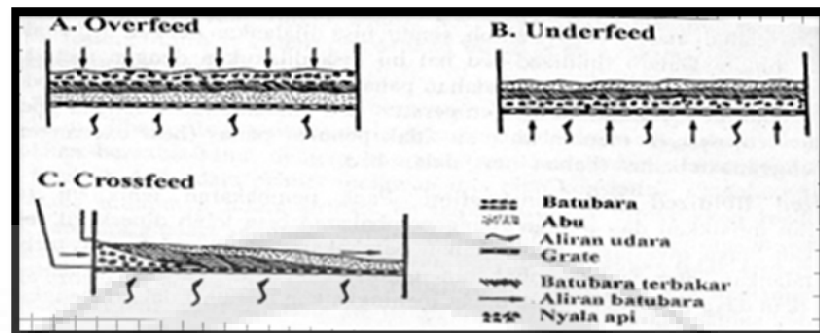
Gambar 3.12

Pembakaran Sistem Unggun Tetap

Tiga pola dasar pengumpanan batubara dan udara ke “stoker” pada ungun tetap :

1. *Overfeed spreaded*
2. *Underfeed*
3. *Crossfeed (vibrating)*

Umpan dalam bentuk kasar $\pm 1-5$ cm



(Sumber : Sudarsono S Arief, Prof.Dr.Ir., 2003).

Gambar 3.13
Skematik pengumpanan

3.6.2 Parameter batubara yang mempengaruhi pembakaran

Desain ketel uap bergantung pada banyaknya variable, yang terpenting ialah sifat sifat dari bahan bakar. Beberapa parameter batubara yang berpengaruh dalam sistem pembakaran ialah nilai panas, *volatile matter*, *reaktivitas*, *fixed carbon*, *moisture*, unsur – unsur yang ditentukan dalam analisis ultimat, pengikisan, *ash*, *sulfur* dan *nitrogen*, serta kekerasan batubara.

a. *Calorific Value*

Apabila batubara yang dipasok mempunyai kalori rendah, maka diperlukan batubara yang lebih banyak, karena akan menimbulkan masalah seperti menyumpat perpindahan

b. *Volatile Matter dan fixed carbon*

Selama pembakaran awal, *volatile matter* akan pecah menjadi gas atau uap yang terdiri dari hidrogen, oksigen, nitrogen, karbon monoksida, metan dan fosfor. Selama pembakaran umumnya *volatile matter* diubah menjadi oksida yang paling stabil dan membebaskan panas. *Volatile* merupakan kunci yang menentukan reaktivitas.

Batubara dengan *volatile* rendah memerlukan waktu penyalaan yang lama. *fixed carbon* ialah residu yang dapat terbakar, dan yang tetap ada setelah *Volatile* keluar dari batubara. *fixed carbon* terbakar dalam keadaan padat dan akan teroksidasi sempurna menjadi karbon dioksida.

c. Reaktivitas

Reaktivitas ialah suatu ukuran kecepatan penggabungan batubara dengan oksigen di atas suhu nyalanya. Ini identik dengan kecepatan pembakaran.

d. Moisture

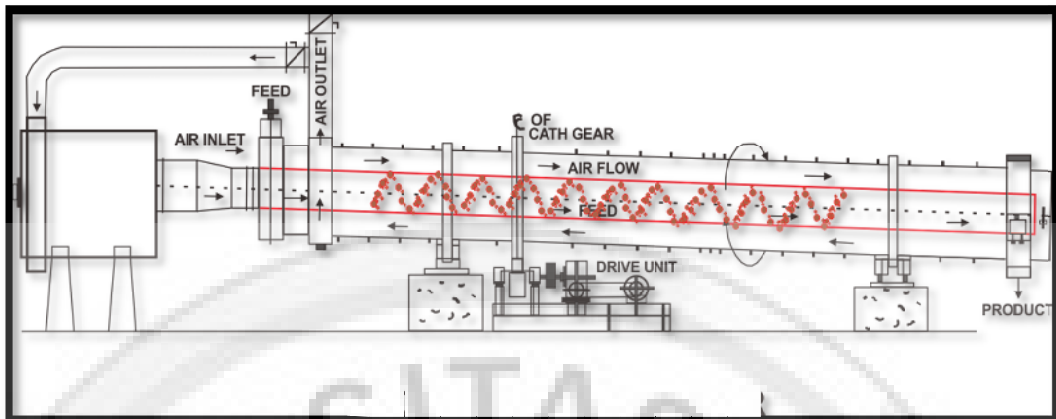
Suhu pembakaran yang rendah disebabkan banyaknya uap air dalam tungku. Pembakaran dapat menimbulkan tidak stabilnya penyalaan. Karena semakin tinggi *moisture* dan semakin rendah nilai panas dari batubara dengan *basis as fired*, maka pada kecepatan *input* yang telah ditentukan pada sistem ketel uap, semakin banyak batubara harus di bakar. Kandungan *moisture* bahan bakar akan mempengaruhi stabilitas nyala dan sifat – sifat pemindahan panas. Hal ini akan mempengaruhi luas relatif tungku pembakaran, bagian *superheater* dan *economiser* daeei ketel uap.

e. Unsur – unsur dalam analisis ultimat

Dalam analisis ultimat ditentukan unsur – unsur karbon, oksigen, nitrogen, sulfur dan karbon dioksida, umumnya dinyatakan dalam basis daf. Dari unsur-unsur ini dapat dihitung keperluan aliran udara ketel uap dan aliran gas.

3.6.3 *Rotary Dryer*

Rotary dryer atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau gasifier. Pengeringan pada *rotary dryer* dilakukan pemutaran berkali-kali sehingga tidak hanya permukaan atas yang mengalami proses pengeringan, namun juga pada seluruh bagian yaitu atas dan bawah secara bergantian, sehingga pengeringan yang dilakukan oleh alat ini lebih merata dan lebih banyak mengalami penyusutan. Selain itu *rotary* ini mengalami pengeringan berturut-turut selama satu jam tanpa dilakukan penghentian proses pengeringan. Pengering *rotary* ini terdiri dari unit-unit silinder, dimana bahan basah masuk diujung yang satu dan bahan kering keluar dari ujung yang lain (Jumari, A dan Purwanto A., 2005). Proses pengeringan terjadi ketika bahan dimasukkan ke dalam silinder yang berputar kemudian bersamaan dengan itu aliran panas mengalir dan kontak dengan bahan. *Rotary dryer* diklasifikasikan sebagai *direct*, *indirect-direct*, *indirect* dan *special types*. Istilah tersebut mengacu pada metode transfer panasnya, istilah *direct* digunakan pada saat terjadi kontak langsung antara gas dengan solid. (Perry, 1984).



(Sumber : Firdaus Pusvita A.N. 2014).

Gambar 3.14
Penampang *Rotary dryer*

Keuntungan penggunaan *rotary dryer* sebagai alat pengering adalah :

1. Dapat mengeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari batubara
2. Penanganan bahan yang baik sehingga menghindari terjadinya *atrissi*
3. Proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang seragam/merata
4. Efisiensi panas tinggi
5. Operasi sinambung
6. Instalasi yang mudah
7. Menggunakan daya listrik yang sedikit