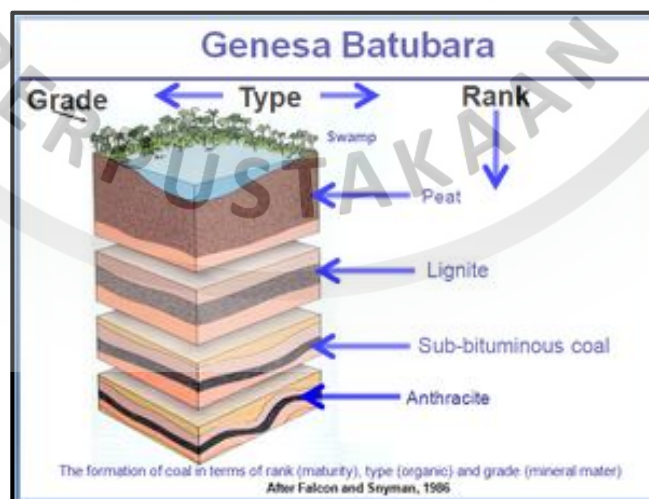


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Batubara

Batubara merupakan batuan sedimen dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan yang terbentuk dari proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen. Pembentukan batubara memiliki sumber energi potensial sebagai bahan bakar dengan unsur-unsur utamanya terdiri dari unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dengan berbagai bentuk. Proses geologi memberikan tekanan pada bahan organik mati dari waktu ke waktu. Sesuai dengan kondisi saat itu, bahan organik mati tersebut berubah menjadi jenis-jenis batubara, berturut-turut sebagai berikut, berdasarkan R.Ward, Colin, 1984.



Sumber: Falcon and Snyman, 1986

Gambar 3.1
Tahap Pembentukan Batubara

3.2 Teori Keterbentukan Batubara

Terdapat dua teori yang menjelaskan mengenai akumulasi gambut baik mengenai ketebalan ataupun penyebarannya, yang kemudian memungkinkan terjadinya lapisan batubara.

3.2.1 Teori Insitu

Teori ini menjelaskan, bahwa batubara terbentuk dari dimana pohon-pohon atau tumbuhan diawali dengan tumbangnya tumbuhan tersebut disebabkan oleh berbagai faktor. Tumbuhan tersebut tumbang ditempat tumbuhnya. Air hujan masuk ke rawa dengan membawa tanah atau batuan yang tererosi pada daerah sekitar rawa yang menjadikan pohon-pohon tersebut tetap tenggelam dan tertimbun. Setelah itu ada proses penggabutan dan pematubaraan. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara seperti ini terdapat di Muara Enim, Sumatera Selatan.

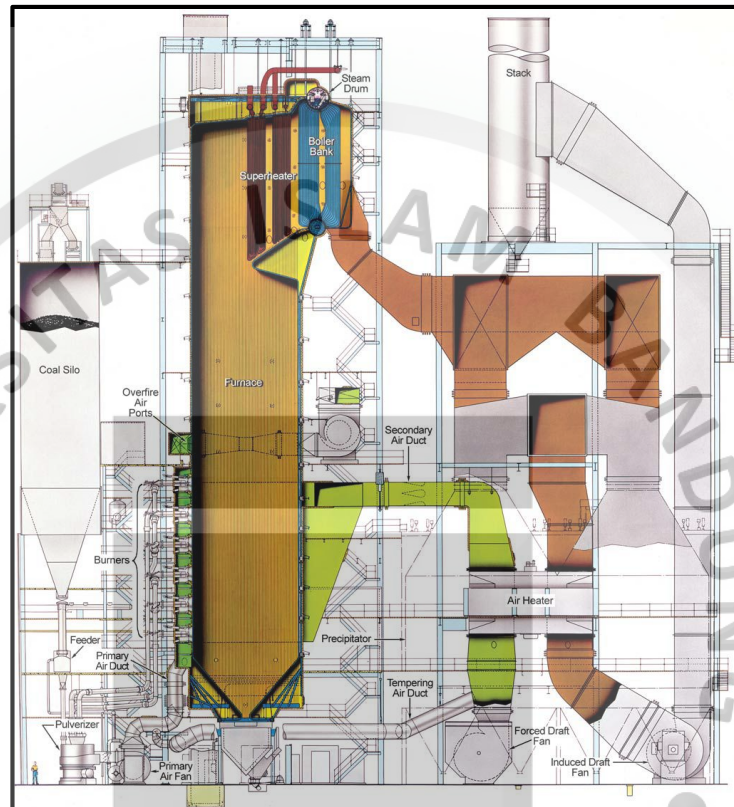
3.2.2 Teori *Drift*

Batubara ini terbentuk dari timbunan tumbuhan namun tertransportasikan oleh air dari tempat tumbuhnya. Pembentuk dasar batubara tersebut tumbang pada lokasi tumbuhnya dan hanyut oleh air sampai pada akhirnya berakumulasi pada suatu cekungan, akumulasi tersebut seterusnya terjadi sepanjang perjalanan waktu dan dipengaruhi oleh tekanan dan panas, maka terjadi perubahan fase penggabutan sampai dengan fase pematubaraan.

3.3 *Boiler*

Proses *boiling* adalah menghasilkan perubahan fasa cair menjadi gas dalam hal ini uap. Sistem PLTU merupakan proses konversi fasa secara berkelanjutan, secara sederhana ialah memanaskan sejumlah ketel, sehingga meningkatkan suhu air. Ketika air mengalami penurunan *density* yang diakibatkan pemanasan, air akan mengalir keatas melalui *tube-tube riser* menuju *steam drum*. Dilanjutkan dengan air

yang telah menjadi uap basah, dialirkan pada unit *superheater* yang berfungsi untuk pemanasan menaikkan temperatur serta tekanan tetap, yang dihasilkan ialah *superheater steam*.



Sumber : The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005

Boiler PLTU
Gambar 3.2

3.3.1 Komponen-Komponen pada *Boiler*

Berikut ini adalah komponen-komponen *boiler*, *Babcock and Wilcox* :

- *Furnace* adalah ruang terbuka ataupun tertutup untuk proses pembakaran bahan bakar dan untuk pendinginan gas buang sebelum memasuki jalur konveksi.
- *Bank boiler* adalah penampung air yang akan dirubah menjadi fasa uap dengan menggunakan panas dari hasil reaksi pembakaran pada *furnace*.
- *Steam drum*, adalah tempat menampungnya *steam* dan memisahkan uap dan air.

- *Superheater*, adalah pemanasan uap jenuh *saturated steam* menjadi uap lanjut.
- *Stack* adalah pipa pembuangan sisa gas hasil pembakaran ke atmosfer yang telah melewati gas *duct*.
- *Coal silo* merupakan penampungan batubara sebelum masuknya kedalam ruang bakar berbentuk kotak ataupun kerucut pada bagian bawahnya.
- *Feeder* merupakan pengumpanan bahan bakar berupa batubara yang telah diatur pengumpanannya.
- *Air duct* merupakan jalur keluar masuknya udara dari atmosfer ataupun dari satu alat ke alat lain.

3.3.2 Proses Pembakaran Batubara

Proses pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap menggunakan bahan bakar batubara merupakan melepas ikatan hidrokarbon pada batubara sehingga menghasilkan panas dengan melibatkan oksigen dengan persamaan berikut.



Untuk ikatan kimia dengan unsur batubara seperti hidrogen, nitrogen, dan sulfur maka pada proses pembakaran tersebut adanya reaksi kimia seperti berikut.



Selanjutnya SO_2 secara bersamaan dengan H_2O dan O_2 berada dalam *boiler* bereaksi dan membentuk rantai kimia seperti berikut.



3.4 *Repeatability and Reproducibility*

3.4.1 *Repeatability*

Repeatability merupakan angka yang menunjukkan batas yang diperbolehkan bagi dua hasil analisis (*duplo*) yang didapat dari laboratorium, operator dan peralatan yang sama selama hasil analisis batubara, apabila hasil analisis tidak memenuhi batas *repeatability* maka diperlakukannya pengujian atau analisis ulang sehingga mendapatkan data yang lebih akurat.

3.4.2 *Reproducibility*

Reproducibility merupakan angka yang menunjukkan batas yang menunjukkan batas yang diperbolehkan bagi dua hasil-hasil analisis yang didapat paling tidak dari dua laboratorium yang berbeda.

Setiap pengujian memiliki standar nilai *repeatability* dan *reproducibility* yang berbeda-beda berdasarkan standar pengujian yang digunakan adapun *repeatability* dan *reproducibility* pengujian Analisis Sulfur, *Ash Analysis*, *Silica dioxide analysis*, *Ash Fusion Temperature*.

Tabel 3.1
Analisis Proximate *Repeatability* and *Reproducibility*

Proximate		
<i>Inherent Moisture</i>	0,09 + 0,01x (%)	
<i>Ash</i>	0,22%	
<i>Volatile Matter</i>	<i>Antrachite</i>	0,30%
	<i>Semianthracite, Bituminous</i>	0,50%
	<i>Subbituminous</i>	0,70%
	<i>Lignite</i>	1,00%

Sumber : ASTM

Tabel 3.2
Analisis Total Sulfur *Repeatability* and *Reproducibility*

ASTM		
Range (%)	<i>Repeatability</i> (r)	<i>Reproducibility</i> (R)
0,7 - 3,8	0,06x + 0,06	0,2x + 0,2

Sumber : ASTM

Tabel 3.3
Ash Analysis Repeatability and Reproducibility

Oksida	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Mn ₃ O ₄	P ₂ O ₅	SO ₃
Range Konsentrasi	50-70	20-35	1-10	0,1-5	0,1-1	0,5-1,5	0,1-1	1,5	0,01-0,1	0,01-2	<4 4-10
Repeatability	1,30	1,49	0,233	0,077	0,053	0,106	0,058	0,178	0,017	0,053	0,08 2% of Mean
Reproducibility	1,76	1,76	0,393	0,146	0,093	0,141	0,066	0,309	0,021	0,077	10% of Mean

Sumber : AS 1038.14.2 – 2003 – Analysis of Higher Rank Coal Ash and Coke Ash

Tabel 3.4
Ash Fusion Temperature Repeatability and Reproducibility

Kondisi	Deformasi	Repeatability	Reproducibility	Unit
Reduksi	<i>Initial Deformation Temperature</i>	30	70	Celcius
	<i>Softening Temperature</i>	30	55	
	<i>Hemispherical Temperature</i>	30	55	
	<i>Fluid Temperature</i>	30	85	
Oksidasi	<i>Initial Deformation Temperature</i>	30	55	
	<i>Softening Temperature</i>	30	55	
	<i>Hemispherical Temperature</i>	30	55	
	<i>Fluid Temperature</i>	30	55	

Sumber : ASTM D1857

3.5 Preparasi Conto

Preparasi conto merupakan proses untuk mendapatkan conto yang baik dengan masa dan kondisinya (beserta ukuran partikel) pada dasarnya bertujuan untuk tetap mewakili seluruh *gross sample* yang diterima oleh laboratorium (*representative*). Masa dan ukuran partikel conto yang diperlukan untuk suatu pengujian berbeda-beda, bergantung dengan standar pengujiannya. Ukuran dan masa conto untuk pengujian *general analysis* (*proximate analysis, ultimat analysis, calorific value*), berbeda dengan ukuran dan masa conto untuk pengujian khusus lainnya.

Preparasi conto yang dilakukan melibatkan kegiatan seperti :

- Penghancuran adalah sebagai langkah yang dilakukan dalam operasi reduksi ukuran, bertujuan untuk memecahkan bongkah-bongkah besar menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil.
- Pencampuran *gross* sampel, dicampur dan dibagi dengan menggunakan alat *splitter* atau *rotary sample divider*, untuk mendapatkan sampel yang homogen.
- Pembagian, dapat dilakukan secara manual atau mekanis. Proses pembagian dapat dilakukan dalam beberapa tahap sampai diperoleh berat yang diinginkan.
- Penimbangan, untuk mendapatkan kriteria berat sampel yang diajukan oleh beberapa standar acuan.
- Pengeringan, contoh batubara dengan menggunakan oven untuk memperoleh sampel kering.

3.6 Analisis Batubara

Analisis batubara digunakan untuk mengetahui data-data mengenai karakter pada batubara sehingga dapat memenuhi sesuai dengan kebutuhan. Analisis batubara untuk bahan bakar, kajian ini dilakukan untuk memenuhi parameter batubara. Analisis yang dilakukan meliputi

- Analisis proksimat (*Moisture, ash, volatile matter, dan fixed carbon*)
- Analisis ultimat (Karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan oksigen)
- Analisis khusus, sebagai penentuan khusus batubara (Nilai kalor, *hardgrove index*, indeks abrasi, *ash fusion temperature, ash analysis*, klor, dan sebagainya)

3.6.1 Analisis Proksimat (*Proximate Analysis*)

Analisis proksimat adalah analisis yang memberikan data mengenai kadar air, kadar *ash, volatile matter, fixed carbon*. Untuk melengkapi hasil pengujian,

mencantumkan data nilai kalor. ASTM D 3172 mengenai *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal*.

1. Air (*Moisture*)

Jumlah kandungan air yang terkandung pada suatu batubara memberikan pengaruh terhadap proses pembakaran. Adanya kandungan air yang tinggi ini akan mengurangi nilai kalori batubara saat pembakaran. Dikarenakan terserapnya sebagian panas untuk menguapkan kandungan air yang tinggi pada batubara, selain itu masalah kadar ini akan mempengaruhi beban berat batubara yang bertambah yang bisa menyebabkan biaya transportasi semakin besar. Air yang terkandung pada batubara terdiri dari dua, yaitu :

- *Free moisture*, adalah kondisi dimana air yang terikat secara mekanik dengan batubara pada daerah permukaan seperti dalam rekahan. Air bebas ini memiliki tekanan uap normal. Air bebas (*free moisture*), adalah air yang akan menguap apabila batubara pada kondisi temperature ruangan, *temperature* kamar $\pm 25^{\circ}\text{C}$) sampai beratnya konstan.
- *Inherent moisture*, adalah kondisi dimana air yang terikat secara fisik pada struktur pori-pori bagian dalam batubara dan memiliki tekanan uap yang lebih rendah dari tekanan normal. Air Lembab (*Inherent moisture*), yaitu air yang akan hilang apabila dipanaskan pada temperatur 110°C hingga beratnya konstan, dari conto yang kondisinya air bebas (*free moisture*), dipanaskan pada temperatur 110°C sampai beratnya konstan.

Rumus perhitungan :

$$\% \text{ IM} = \frac{(M2 - M3)}{(M2 - M1)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan :

M1 : Berat *Crucible*

M2 : Berat *Crucible* + Sampel

M3 : Berat *Crucible* + Sampel setelah pemanasan

2. **Ash**

Mineral Matter merupakan komponen penyusun batubara terbagi menjadi dua, yaitu :

- *Inherent mineral matter*, merupakan hubungan dengan tumbuhan asal pembentuk batubara dimana tidak mungkin dihilangkan bahkan dengan dilakukannya pencucian batubara.
- *Extraneous mineral matter*, berasal dari tanah penutup atau lapisan yang terdapat diantara batubara yang dimana dapat dikurangi dengan proses pencucian batubara. *Ash* batubara merupakan terdiri atas senyawa-senyawa silikon, alumunium, besi, dan kalsium serta sejumlah kecil Na, Ti, Mg, Mn, dalam bentuk silikat, oksida, sulfat, dan posfat. *Ash* merupakan residu yang berasal dari mineral matter yang tersisa pada pembakaran batubara yang sempurna. Maka dari itu semakin tinggi kandungan *ash* dalam batubara akan semakin berkurang nilai kalor batubara tersebut Berikut merupakan prosedur pengujian kadar. Kadar *ash* dengan cara siapkan conto -211 μm dalam *crucible* panaskan dengan suhu 850°C kemudian diamkan selama 15 menit. Material yang habis dalam kondisi akan habis pada kondisi oksidasi sempurna. Sisanya ditimbang sebagai kandungan *ash*. Adapun perhitungan sebagai berikut ini.

Rumus perhitungan :

$$\% \text{ Ash} = \frac{(M3 - M1)}{(M2 - M1)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

M1 : Berat *Crucible*

M2 : Berat *Crucible* + Sampel

M3 : Berat *Crucible* + Sampel setelah pemanasan

3. **Volatile Matter**

Volatile matter pada batubara terdiri dari dua, yaitu zat terbang mineral *Volatile mineral matter* dan *Volatile matter* organik. *Volatile mineral matter* adalah mineral-mineral yang terbawa oleh sungai, pengendapan, dan penetrasi melalui celah batubara dan terdiri dari mineral anorganik yang menjadi pengotor batubara. *Volatile matter* organik merupakan senyawa organik yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan sewaktu hidup dalam rawa-rawa dan tidak dapat dipisahkan dari batubara. Biasanya terdiri atas H₂, CO, CH₄, dan sejumlah kecil gas - gas yang tidak mudah terbakar seperti CO₂ dan H₂O. *Volatile matter* dalam batubara dapat mempengaruhi proses pemanfaatannya yang dimana pada proses pembakaran dapat mengganggu karakteristik pembakaran. Hal tersebut berpengaruh terhadap berat batubara pada saat pembakaran dimana kandungan zat terbang yang tinggi akan membuat batubara semakin cepat terbakar dan semakin banyak kehilangan berat. Hal tersebut dapat dicegah dengan cara memperhatikan pada proses pengeringan dan pelakuan panas. *Volatile matter* ditentukan dengan cara memanaskan batubara dalam kondisi *inherent moisture* selama 7 menit pada temperatur 925°C dalam *crucible* menggunakan tungku vertikal dengan perhitungan seperti berikut :

Rumus perhitungan :

$$\% \text{ VM} = \frac{(M2 - M3)}{(M2 - M1)} \times 100\% - \text{IM}\% \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

M1 : Berat *Crucible*

M2 : Berat *Crucible* + Sampel

M3 : Berat *Crucible* + Sampel setelah pemanasan

IM : Persentase *Inherent Moisture*

4. **Fixed Carbon**

Merupakan karbon yang terdapat pada batubara yang berupa zat padat. Karbon tertambat ini menjadi komponen utama batubara yang mampu menghasilkan panas pada suatu proses pembakaran batubara. Semakin tinggi kandungan *Fixed carbon* maka nilai kalor batubara akan semakin meningkat.

Fixed carbon menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. *Fixed carbon* dapat ditentukan dengan perhitungan seperti berikut :

Rumus perhitungan :

$$\%FC = 100\% - \%IM - \%A - \%VM \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan :

%IM : Persentase *Inherent Moisture*

%VM : Persentase *Volatile Matter*

%A : Persentase *Ash*

%FC : Persentase *Fixed Carbon*

3.6.2 Analisis Ultimat (*Ultimate Analysis*)

Analisis Ultimat merupakan analisis yang memberikan data mengenai komposisi bahan bakar dalam persentase untuk nitrogen, oksigen, hidrogen, karbon, *ash*, sulfur, dan hidrogen. Standar yang digunakan sebagai acuan ialah ISO, BS, ASTM hanya memberikan standar prosedur analisis ultimat untuk *hard coal* saja, sementara standar AS selain untuk *hardcoal* juga untuk *lignite*. Perbedaan yang mencolok antara prosedur untuk *hardcoal* dan *browncoal* terletak pada pengurangan *moisture*. Karena *browncoal* dan *lignite* memiliki *moisture* yang banyak, sebelum dilakukan analisis sebagian besar dari *moisture* ini dihilangkan dulu untuk, kemudian dalam sampel yang kering ini dilakukan analisis ultimat. Pada penentuan karbon dan hidrogen untuk *lower rank coal* tersebut, standar Australia.

1. Karbon dan Hidrogen

Unsur karbon dan unsur hidrogen merupakan senyawa hidrokarbon yang pada proses pembakaran akan membentuk CO_2 dan H_2O . Pada batubara merupakan bentuk kombinasi alifatik dan aromatik. Pembentukannya batubara, hidrogen akan semakin kecil dikarenakan penguapan metana. Dengan seiring berkurangnya kandungan hidrogen akan menaikkan peringkat batubara. Pada saat pembakaran sebagian hidrogen akan menguap dalam bentuk *volatile matter* dan air.

2. Nitrogen

Unsur nitrogen dalam batubara merupakan bentuk senyawa N_2 apabila dipanaskan atom nitrogen ini terpecah dan terikat dengan oksigen, maka bentuk ini dikenal dengan NO_x . Selain itu NO_x dapat terbentuk dari atom nitrogen yang terjebak di dalam batubara. NO_x merupakan polutan yang membentuk *acid rain*.

3. Oksigen

Oksigen dalam batubara merupakan bentuk hidroksil, karboksil, metoksil, dan karbonil yang dapat dikenal dengan oksigen tidak reaktif. Pada proses pembakaran berlangsung akan terjadi pengkilangan oksigen dalam batubara. Hal ini berpengaruh dengan kualitas batubara dimana peringkat batubara naik dengan berkurangnya kandungan oksigen 20% untuk *lignite*, 4 - 10% untuk *bituminous* dan 1,5 - 2% untuk antrasit.

4. Prinsip Alat

Sampel batubara solid berada pada wadah timah, timah sendiri merupakan hal penting untuk pembakaran secara sempurna pada *analyzer*. Mangkuk timah ditaruh pada *tube* yang akan diberi pembakaran oksigen eksternal pada temperature 1350°C . Pembakaran yang terjadi menghasilkan produk berupa gas N_2 , NO_x , H_2O , SO_2 , O_2 dan CO_2 dibawa oleh gas helium melalui kolom yang terisi oleh Tembaga dan dari kolom tembaga tersebut dimana nitrogen oksida mengurangi elemen nitrogen dan oksigen menjadi CuO , maka air mengabsorpsi di kolom lain. Sementara

gas dihasilkan dari (*Temperature Programmed Desorption*) dimana kolom N_2 mengalir melalui itu, dan gas lainnya terikat dengan kolom. Dengan program temperatur dapat menaikkan temperature didalam kolom dan dilepaskan sebagian. Unsur tersebut mengalir selama *thermal conductivity detector* menurut prosedur sinyal proporsional untuk konsentrasi dari nitrogen, carbon, hidrogen, dan sulfur.



Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 3.3
C/H/N Elemental Analyzer 5E-CHN2200

4. Sulfur

Kandungan sulfur dalam batubara terbagi atas tiga bentuk :

- Bentuk sulfur pirit, jumlahnya 20-80% dari total sulfur dan terdapat dalam batubara dengan ukuran mikro dan makro.
- Bentuk sulfur organik, dengan jumlah 20-80% dari total sulfur terikat secara kimia dengan batubara.
- Bentuk senyawa sulfat, sulfur berada terutama dalam bentuk senyawa C_aSO_4 dan F_eSO_4 dengan jumlah yang sangat kecil dalam batubara.

Dalam proses pembakaran, sulfur organik dan sebagian dari sulfur pirit akan teroksidasi menjadi SO_2 dan sebagian lagi menjadi SO_3 . SO_2 , bila bereaksi dengan uap air maka dalam pembakaran dapat membentuk H_2SO_4 . Kondensasi dari uap asam ini dapat menyebabkan korosi. Sedangkan sulfur pirit dan sulfat sisa

pembakaran berubah menjadi sulfide anorganik yang lebih stabil dan tertinggal sebagai *ash*. Penggunaan batubara untuk industri-industri biasanya persyaratan kandungan sulfur relatif rendah, dimana standar maksimal kadar sulfur yang terkandung dalam batubara ialah <1%.

Penentuan total sulfur pada awalnya batubara dibakar sehingga *ash* batubara, kemudian *ash* batubara ditimbang dan dibakar dalam instrument dengan oksigen pada suhu 1350° C, sulfur dan komponen sulfur dalam sampel batubara terdekomposisi dan teroksidasi menyerupai gas sulfur. *Moisture* serta partikulat ditangkap menggunakan magnesium perklorat dan dipisahkan dengan menggunakan saringan gas. Aliran gas sulfur melewati sel dan terdeteksi oleh *detector* radiasi inframerah dengan menggunakan alat IRS LECO S-144DR



Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 3.4
IRS LECO S-144DR

3.6.3 Analisis Khusus

1. Nilai Kalor (Calorific Value)

Nilai kalor merupakan nilai sejumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran batubara, terdiri dari bahan-bahan yang mudah terbakar seperti karbon, hidrogen, dan sulfur dengan koreksi panas penguraian dan panas karena reaksi eksotermis dan endotermis dari pembakaran unsur-unsur pengotor batubara. Adanya *inherent*

moisture dan *mineral matter* maka akan mengurangi nilai kalor yang dihasilkan batubara. Dalam pemilihan batubara, nilai kalor menjadi syarat utama dalam pemilihan utama batubara sebagai bahan bakar.



Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 3.5
Calorimeter 5E-C5500

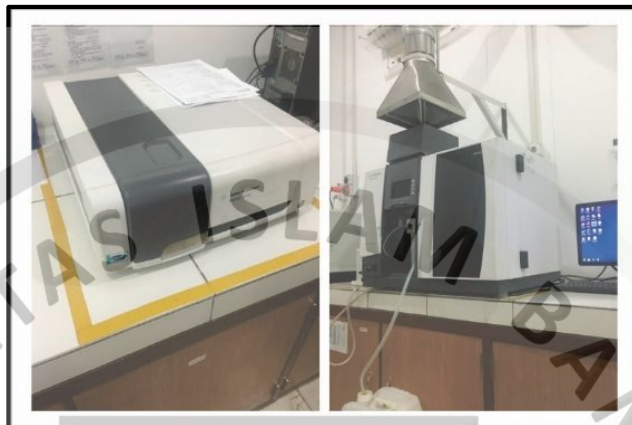
2. **Ash Analysis (Analisis Abu)**

Ash Analysis merupakan analisis sejumlah *ash* batubara yang di destruksi dengan penambahan sejumlah larutan asam dan pemanasan tertentu. Larutan yang dihasilkan kemudian diencerkan serta dibaca komposisinya dengan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer*. Pada prinsipnya kerja ini berdasarkan kerja dari absorbansi cahaya yang berbanding lurus dengan konsentrasi atom. Nilai-nilai elemen tersebut didapat dari persamaan kalibrasi antara absorban dengan konsentrasi. Intruksi kerja tersebut berdasarkan standar AS 1038.14.2 – 2003 (*Reconfirmed 2013*) – *Analysis of higher rank coal ash and coke ash*.

3. **Ash Fusion Temperature (Titik Leleh Ash)**

Perilaku *ash* batubara pada kondisi suhu tinggi merupakan hal yang penting diperhatikan pada pemilihan batubara sebagai bahan bakar. Pada dasarnya tungku pembakaran didesain untuk menangani pembuangan *ash* sebagai partikel padatan halus sisa pembakaran batubara. Pada dasarnya *ash* batubara yang mudah meleleh adalah hal yang tidak diinginkan. Sehingga untuk batubara jenis tersebut tungku yang

digunakan harus didesain khusus agar cairan kental panas dari *ash* yang mencair dapat dibuang. Perilaku *ash* batubara pada temperatur tinggi berhubungan dengan komposisi kimia dari *ash* batubara (*Ash Analysis*).



Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 3.6

Spechtrophotometer UV-vis dan Atomic Absorption Spechtrophotometer

Ash Fusion Temperature ditujukan untuk menggambarkan pelunakan dan pelelehan *ash*, yang diukur berdasarkan standar tertentu dengan cara pemanasan secara gradual terhadap sampel yang telah disiapkan dalam bentuk *cone* untuk selanjutnya diamati profilnya ketika diberi temperature tinggi. Analisis ini digunakan dengan dua kondisi, yaitu kondisi oksidasi dan reduksi. Pada kondisi reduksi pemanasan dilakukan dalam tabung pembakaran yang dialiri 50% gas hidrogen dan 50% gas karbonmonoksida, sedangkan pada kondisi pemanasan oksidasi pemanasan menggunakan pembakaran yang dialiri 100% gas karbondioksida. Peralatan untuk penentuan suhu leleh *ash* atau *ash fusion temperature (AFT)* atau *Fusibility of Ash* terdiri dari *furnace* yang mempunyai suhu antara 800° – 1500° C, cetakan untuk membuat sampel *ash*, dan pengamat terjadinya perubahan bentuk dari sampel yang dipanaskan hingga profil *ash* meleleh. Pengamatan dapat dilakukan dengan teropong alat yang telah disediakan.



Sumber : Dokumentasi Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 3.7
Ash Fusion Temperature 5E – AF4105

Analisis ini dilakukan dengan kondisi oksidasi umumnya untuk mendapatkan hasil yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada kondisi reduksi, Hal ini tergantung dari kandungan komponen tertentu dalam *ash* tersebut, sebagai contoh, komponen besi oksida yang mempunyai efek pelelehan yang berbeda pada kondisi oksidasi dengan pada kondisi reduksi.

Analisis oksidasi atau reduksi yang dapat digunakan untuk permasalahan yang mungkin timbul pada suatu instalasi, tergantung dari operasi itu sendiri, sebagai contoh pada pabrik penghasil gas, dimana kondisi reduksi terjadi di ruang pembakaran maka AFT reduksilah yang cocok digunakan, sebaliknya pada dasar *fixed furnace*, dimana udara pembakaran mengalir dari bawah keatas, kondisinya adalah oksidasi yang cocok. Dalam kasus pembakaran pulverized *fuel*, keadaannya berbeda dan tidak menentu. Pada nyala pembakaran kondisinya agak oksidasi tergantung dari banyak udara yang dialirkan. Hasil penentuan yang dilaporkan tergantung dengan standar apa yang digunakan.

3.6.4 *Slagging and Fouling*

Boiler shells dan *tubes* merupakan asosisasi dari komponen *superheater tubes* dan *economizers* yang dapat terlapisi atau terkorosi yang diakibatkan oleh deposisi dan serangan logam *clinker*. Menumpuknya *ash* dan korosi merupakan dampak yang serius terhadap *boiler*, seperti masalah penghantaran panas, penurunan efisiensi *boiler*, tersumbatnya pipa, serta kerusakan pipa akibat terlepasnya *clinker*. Keseluruhan masalah yang timbul bisa disebut juga dengan *clinker trouble*.

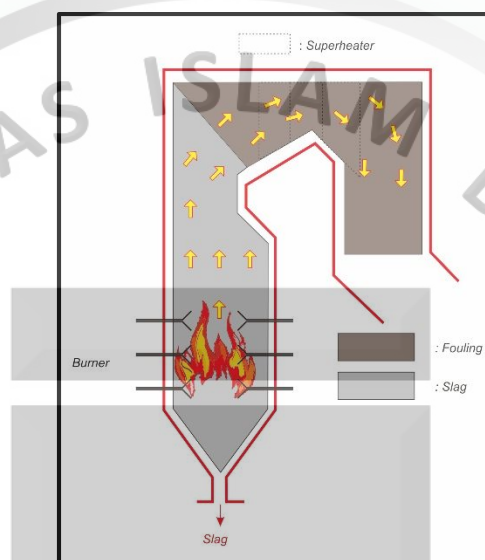
1. *Slagging*

Slagging terjadi pada bagian komponen pembakaran terdingin pada boiler. Permukaan tersebut, menempel dan membentuk deposit. Partikel *ash* yang meleleh, akan mengalami pendinginan dan membentuk deposit pada permukaan *boiler*. Berjalannya waktu akan semakin tebal apabila penempelan *ash* yang meleleh jika dibiarkan. Terkait hal ini, persoalan yang penting perlu menjadi perhatian terutama adalah dinding penghantar panas konveksi pada bagian *outlet* dari *furnace*, bila suhu gasnya melebihi temperatur melunak *ash softening temperature*.

Walaupun mekanisme menempel serta menumpuknya *ash* pada dinding penghantar panas *boiler* adalah rumit dan belum sepenuhnya dapat diterangkan, tapi secara umum dapat dijelaskan bahwa campuran mineral anorganik yang terdapat dalam *ash* batubara menerima panas radiasi yang kuat di dalam *furnace* sampai akhirnya melebur. Saat *ash* yang melebur tadi bersentuhan dengan permukaan *tube* yang suhunya relatif lebih rendah, *ash* akan mengalami pendinginan dan pada akhirnya mengeras.

Ketebalan lapisan *ash* yang menempel ini biasanya tidak sampai pada tingkat yang mengganggu performa dinding penghantar panas. Lagi pula, *ash* berikut dapat dapat dihilangkan dengan penempatan *soot blower* pada *furnace*. Namun jika

batubara yang dibakar tersebut memiliki *ash fusion temperature* relatif rendah, maka *ash* yang menempel akan membentuk lapisan dan lama-kelamaan akan berkembang. Jika hal ini berlangsung terus, maka dapat terjadinya penurunan kapasitas *boiler* akibatnya beberapa masalah yang muncul, diantaranya adalah menurunnya penyerapan panas oleh *furnace* dan tersumbatnya *tubes*.



Sumber : The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005

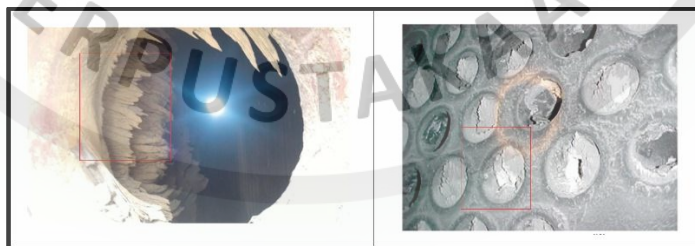
Gambar 3.8
Mekanisme Slagging dan Fouling

Slagging ini karakteristiknya dapat dinilai dari *ash fusion temperature* dan kondisi *ash* itu sendiri. Suhu lebur *ash* yang rendah akan memudahkan terjadinya *slagging*. Kemudian, diketahui pula bahwa bila rasio unsur alkali Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O terhadap unsur asam SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 meningkat, potensi timbulnya *slaggingnya* juga meningkat. Seperti gambar 3.9 merupakan salah satu contoh penumpukan *ash* pada dinding penghantar panas. Tumpukan *ash* tersebut tidak diatasi sehingga membuat tumpukan semakin tebal dan sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas serta umur alat.

2. *Fouling*

Fouling adalah fenomena menempel dan menumpuknya *ash* pada dinding penghantar panas *superheater* maupun *re-heater* yang dipasang di lingkungan

dimana suhu gas pada bagian belakang *furnace* lebih rendah dibandingkan suhu melunak *ash* atau *ash softening*. Pada gambar 3.9 dapat diamati *ash fouling* pada dinding *superheater*. Unsur yang paling berpengaruh pada penempelan *ash* ini adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini adalah kadar Na_2O , yang apabila kadar *ash* batubara basa yang banyak, ditambah dengan unsur Na_2O yang tinggi, maka *fouling* akan mudah terjadi. Evaluasi karakteristik ini sama dengan *slagging*, yaitu dinilai berdasarkan rasio unsur basa dan asam, serta kadar Na_2O di dalam *ash*. Jika nilai tersebut tinggi maka kecenderungan *fouling* akan meningkat. Selanjutnya, kadar sulfur yang tinggi juga akan mendorong timbulnya *fouling* melalui pembentukan senyawa bersuhu lebur rendah, melalui persenyawaan dengan unsur basa ataupun besi. *Fouling* yang berkembang akan dapat menyebabkan bermacam-macam masalah seperti penurunan suhu uap pada keluaran *outlet superheater* dan *re-heater*, serta menyempit dan tersumbatnya jalur aliran gas. Untuk menghilangkan *ash* ini dapat digunakan *soot blower*, sama seperti dengan penanganan *slagging*. Pada gambar 3.9 menunjukkan penampakan *fouling* pada permukaan perpindahan panas *heat changer* pada *boiler* sisi gas. Unsur yang paling berpengaruh dalam penempelan ini adalah Na_2O yang tinggi.



Sumber :Winda Ayu, Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Gambar 3. 9
Slagging dan Fouling Pada Dinding Boiler

3.7 Metode Evaluasi *Babcock and Wilcox*

3.7.1 Standar Kriteria Bahan Bakar Batubara *Babcock and Wilcox*

Standar kriteria bahan bakar batubara *Babcock and Wilcox* dikaji dengan analisis batubara proksimat, tujuan standar kriteria agar pembakaran batubara yang

dihasilkan berupa pembakaran batubara sempurna, *volatile matter* sendiri harus memiliki nilai >15% apabila rendah dibawah nilai tersebut, maka inisiasi awal pembakaran batubara akan terlalu sulit, untuk *ash* nilai kriteria tersebut diharuskan < 25% jika melebihi nilai tersebut maka *ash* pada pembakaran batubara akan menghasilkan *slag* pada dinding ruang bakar serta mengurangi temperatur ruang bakar. Nilai batas *inherent moisture content* merupakan nilai batas kriteria apabila melebihi nilai tersebut maka batubara akan sulit dilakukan pembakaran, jika perlu dilakukan pembakaran diperlukan temperatur kerja ruang bakar yang tinggi.

Tabel 3.5
Standar Kriteria Kualitas Bahan Bakar Batubara

Volatile Matter		>15%	
	Ash	<i>Bituminous</i>	<6%
		<i>Sub-bituminous</i>	<25%
Moisture Content (Inherent)		<i>Bituminous</i>	<20%
		<i>Sub-bituminous</i>	<25%

Sumber : The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005

3.7.2 Based Acid Ratio

Unsur pokok *ash* batubara dapat dibagi dua klasifikasi basa dan asam. Unsur pokok basa seperti Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O . Untuk pokok asam seperti SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 . Unsur basa dan asam kecenderungan bahan campuran berasal dari titik lebur yang rendah. Beberapa pengalaman menunjukkan unsur basa dan asam memberikan dampak terhadap titik lebur beserta viskositas lebur pada karakter *ash* batubara. *Based acid ratio* ini mengkalkulasikan persentase basa dibandingkan persentase asam.

Tabel 3.6
Komposisi Ash beserta Indikator

Senyawa	Titik Leleh (°C)	Indikator
Fe_2O_3	1.565	Basa

Lanjutan Tabel 3.6

Na ₂ O	1.132	
K ₂ O	740	
CaO	2.572	
MgO	2.852	
SiO ₂	1.710	Asam
Al ₂ O ₃	2.072	
TiO ₂	1.843	

Sumber : The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005

Rumus perhitungan :

$$R = \frac{\%CaO + \%MgO + \%Fe_2O_3 + \%Na_2O + \%K_2O}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%TiO_2} \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan :

R : Rasio Basa Asam

% : Persentase Unsur

Rumus perhitungan :

$$Based\ Ratio = \frac{(CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O) \times 100}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O} \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan :

Based Ratio : Rasio Basa

% : Persentase Unsur

Rumus perhitungan :

$$Acid\ Ratio = \frac{(SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2) \times 100}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 + CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O} \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan :

Acid Ratio : Rasio Asam

% : Persentase Unsur

3.7.3 Klasifikasi Ash

Ash batubara terklasifikasi menjadi dua kategori berdasarkan komposisi kimianya. *Lignite ash* memiliki kandungan lebih banyak CaO dan MgO dibandingkan Fe₂O₃. *Bituminous ash* memiliki kandungan lebih banyak Fe₂O₃ dibandingkan

dengan CaO dan MgO. *Bituminous ash* merupakan karakter umum untuk karakter batubara rank tinggi, sementara *lignite ash* merupakan karakter batubara rank rendah. Namun klasifikasi *ash* ini tidak berdasarkan rank klasifikasi ASTM, dalam kasus yang jarang batubara *lignite* dan *subbituminous* memungkinkan untuk memiliki kandungan *ash bituminous* dan batubara *bituminous* memungkinkan untuk memiliki kandungan *lignite ash*.

- *Lignite ash* $\rightarrow Fe_2O_3 < CaO + MgO$ (3.13)
- *Bituminous ash* $\rightarrow Fe_2O_3 > CaO + MgO$ (3.14)

3.7.4 Slagging Factor – Bituminous Ash (Rs)

Slagging factor untuk *bituminous ash* merupakan kalkulasi untuk menghitung *based acid ratio* dalam sejumlah unsur sulfur pada batubara. Perbandingan basa dan asam mengindikasikan kecenderungan *ash* batubara terdiri dari temperatur leleh yang rendah. Kandungan sulfur pada *ash* batubara mengindikasikan jumlah besi yang ada sebagai pirit.

Rumus Perhitungan :

$$\text{Slagging Factor } R_s = R \times S \text{ (3.15)}$$

Keterangan :

- R_s : *Slagging Factor*
- R : Rasio Basa Asam
- S : Persentase Unsur Sulfur (Ultimat)

3.7.5 Slagging Factor – Lignite ash (Rs*)

Slagging factor untuk *lignite ash* (R_s^*) berdasarkan dengan pengujian *Ash fusion temperature* ASTM. Pada pengujian *ash fusion temperature* dimana rata-rata temperatur pada profil *Deformation* (DT) dan *Hemispherical* (HT).

Rumus Perhitungan :

$$\text{Slagging Factor } (R_s^*) = \frac{(HT + (4 \times DT))}{5} \text{ (3.16)}$$

Keterangan :

DT = *Deformation*

HT = *Hemispherical*

3.7.6 *Fouling Factor – Bituminous Ash (Rf)*

Fouling factor untuk *bituminous ash* diperoleh dari pemanasan *ash* batubara, berasal dari pengujian *sintering strength characteristics* menggunakan unsur Na_2O pada *ash* batubara dan *based acid ratio*.

Rumus Perhitungan :

$$\text{Fouling Factor } R_f = R \times \% \text{Na}_2\text{O} \dots\dots\dots (3.17)$$

Keterangan :

R_f : *Fouling Factor Bituminous Ash*

R : Rasio Basa Asam

$\% \text{Na}_2\text{O}$: Persentase Unsur Natrium

3.7.7 *Fouling Factor – Lignite Ash (Rf*)*

Fouling factor untuk *lignite ash* diperoleh dengan acuan kandungan $\% \text{Na}_2\text{O}$ sebagai nilai *fouling factor*.

Rumus Perhitungan :

$$\text{Fouling Factor } (R_f^*) = \% \text{Na}_2\text{O} \dots\dots\dots (3.18)$$

Keterangan :

R_f^* : *Fouling Factor Lignite Ash*

$\%$: Persentase Unsur

3.7.8 *Faktor Babcock & Wilcox*

Faktor ini dikembangkan oleh perusahaan *Babcock & Wilcox* yang khusus berkonsentrasi pada bidang fabrikasi *boiler* terkemuka Amerika, dengan berbagai macam kategori. Faktor penilaian ini menjadi standar untuk mencegah terjadinya *slagging* dan *fouling* pada dinding *boiler*.

Tabel 3.7
Base Acid Ratio, Slagging Factor, and Fouling Factor

Faktor	Low	Medium	High	Severe
<i>Base acid ratio (R)</i>	< 0,5	> 0,5		
Bituminous				
<i>Slagging factor (Rs)</i>	< 0,6	0,6 – 2,0	2,0 – 2,6	> 2,6
<i>Fouling factor (Rf)</i>	< 0,2	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	>1,0
Lignite				
<i>Slagging factor (Rs*)</i>	> 1340	1230 -1340	1150 - 1230	<1150
<i>Fouling factor (Rf*)</i>	<1,2	1,2 – 3,0	3,0 – 6,0	>6,0

Sumber : The Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio, U.S.A. 2005

