

**STUDI PENGGUNAAN BATUBARA LIGNIT MALLAWA DAN  
PENCAMPURAN DENGAN CANGKANG BIJI JAMBU METE  
DI PT. INDOOFOOD CBP, Tbk CAB. MAKASSAR**

**NOVARINI**

**P2201211409**



**PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2013**

## ABSTRAK

**NOVARINI.** Studi Penggunaan Batubara Lignit Mallawa dan Campuran Dengan Cangkang Biji Jambu Mete di PT. Indoofood CBP, Tbk Cabang Makassar (dibimbing oleh **Yusuf Siahaya** dan **Johannes Leonard**)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan batubara lignit dengan kadar sulfur diatas 1,8% dan jika 60% batubara lignit dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete terhadap efek *slagging* dan *fouling* pada ketel uap pipa api di PT. Indoofood CBP, Tbk Cabang Makassar.

Penelitian ini dilakukan pada ketel uap pipa api di bagian utilitas Departemen Teknik PT. Indoofood CBP, Tbk Cabang Makassar. Data yang diambil adalah hasil analisis proksimat, kandungan abu, nilai bakar bahan bakar, temperatur, tekanan, laju alir air umpan dan uap yang dihasilkan, temperatur keluar pipa api, udara berlebih, dan jumlah karbon yang tidak terbakar, serta luas ruang bakar. Analisa data dilakukan pada perhitungan indeks *slagging* dan *fouling* serta kesetimbangan energi proses pembakaran,

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan bahan bakar batubara lignit didapatkan nilai indeks *slagging* 1,42% dan indeks *fouling*  $\text{Na}_2\text{O}$  0,34%. Jika menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete diperoleh nilai indeks *slagging* 0,86% dan indeks *fouling*  $\text{Na}_2\text{O}$  0,05%. Nilai kalor uap yang dibangkitkan, nilai kalor gas buang, dan kalor yang hilang untuk kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete hampir sama dengan kondisi ketel uap setelah dibersihkan dengan menggunakan bahan bakar batubara lignit.

Kata kunci : Batubara lignit dan cangkang biji jambu mete, ketel uap pipa api, *slagging* dan *fouling*

## ABSTRACT

**NOVARINI.** Study on use of Mixture of Lignite Mallowa Coal and Cashew Nut Shells in PT. Indofood CBP, Tbk of Makassar Branch (supervised by **Yusuf Siahaya** dan **Johannes Leonard**).

This research aimed to analyse of the use 60% of lignite coal of 1,8% sulphur content if mixed with 40% 1,8% and when lignite coal mixed with 40% the cashew nut shells on the slagging and fouling effects on the fire tube steam boiler.

The research was carried out on the fire tube steam boiler in the utility of engineering department of PT. Indofood CBP, Tbk Makassar Branch. Data taken were the proximate analysis result, ash content, fuel value, temperature, pressure, flowrate of feed water, and the steam generated, pipe line fire exit temperature, excessive air, amount of unburned carbon, and combustion chamber extension. The data were analysed by the calculation of the slagging and fouling index, and combustion process energy balance..

The research result indicates that by using lignite coal fuel, the slagging index value of 1,42% and fouling index of  $\text{Na}_2\text{O}$  0,34% are obtained, however, if using the fuel mixture of 60% lignite coal and 40% the cashew nut shells, the slagging index value is found 0,86% and fouling index value is  $\text{Na}_2\text{O}$  0,05% . The steam caloric value in the steam boiler condition before being cleaned using the mixture fuel of 60% lignite coal and 40% cashew nut shells are almost the same as the steam boiler condition after being cleaned using the lignite coal fuel.

Keywords : lignite coal and cashew nut shells, fire tube steam boiler, slagging and fouling

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkah karuniaNya sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan, meskipun banyak kendala yang dihadapi.

Tesis yang berjudul “Studi Penggunaan Batubara Lignite Mallawa dan Pencampuran dengan Cangkang Biji Jambu Mete di PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar merupakan syarat untuk menyelesaikan studi pada program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Yusuf Siahaya, MSME sebagai Ketua Penasehat, Dr. Ir. Johannes Leonard, DEA sebagai Anggota Penasehat, Ir Banu Wirawan sebagai Manajer Produksi, dan Ruli Thanidar ST sebagai Supervisor Teknik di PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar atas arahan-arahan yang telah diberikan selama penyusunan proosal tesis ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya proposal tesis ini, terutama kepada :

1. Suami serta anak-anakku atas pengorbanan dan doanya
2. Bapak Dr. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin

4. Bapak Direktur serta Staff Program Studi Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya
5. Bapak, Ibu dosen staff pengajar Jurusan Teknik Mesin Program Studi Pascasarjana Universitas Hasanuddin
6. Kepada seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin angkatan 2011 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian proposal tesis ini.

Akhir kata semoga proposal tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan oleh karena itu masuka dan kritik dibutuhkan untuk membantu dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

Makassar, Agustus 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK .....	ii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A.Latar Belakang.....	1
B.Rumusan Masalah .....	3
C.Tujuan Penelitian.....	4
D.Manfaat Penelitian .....	5
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Sistem Penanganan Batubara di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar .....	6
B. Diagram Alir Proses di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar .....	7
C. Batubara .....	10
D. Jambu Mete.....	17
E. Potensi Slagging dan Fouling .....	20
F. Spesifikasi Bahan Bakar yang Digunakan untuk Ketel Pipa Api Stocker Thompson Triumph MK 4 .....	29

**halaman****BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

A. Waktu dan Tempat .....	33
B. Prosedur Penelitian .....	33
C. Pengolahan Data .....	36
D. Diagram Alir Penelitian.....	37
E. Proses Pembakaran dan Produksi Steam .....	38

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. HASIL .....	39
B. PEMBAHASAN.....	64

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

A. KESIMPULAN .....	78
B. SARAN .....	79

DAFTAR PUSTAKA.....	80
---------------------	----

LAMPIRAN.....	82
---------------	----

**DAFTAR TABEL**

<b>Nomor</b>	<b>halaman</b>
1 Klasifikasi batubara berdasarkan peringkat .....	15
2 Analisa proximate dan ultimate .....	16
3 Mineral-mineral batubara.....	20
4 Range Impuritis batubara .....	32
5 Komposisi kimia abu batubara lignit (analisa sucofondo Tanggal 17 Mei 2013) .....	41
6 Komposisi kimia abu cangkang biji jambu mete (www. Anupinindustries.net/cashew-net-shell-cake.html tahun 2010).....	43
7 Kondisi operasi bahan bakar batubara lignit Mallawa dan cangkang biji jambu mete.....	47
8 Perhitungan pembakakaran-metode BTU batubara lignit Mallawa dan cangkang biji jambu mete .....	49



## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>		<b>halaman</b>
1	Sistem Penanganan Batubara di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar .....	6
2	Diagram alir proses di PT. Indoofood CBP Sukses makmur, Tbk Cabang Makassar .....	9
3	Proses pembentukan batubara (DAF).....	14
4	Bentuk spesifik ash dan perubahan bentuk akibat Dari temperatur pembakaran.....	24
5	Slagging pada Ruang Bakar.....	24
6	Fouling di dalam Pipa Api.....	25
7	Proses pembakaran dan produksi steam .....	38
8	Kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete .....	65
9	Kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit .....	66
10	Kondisi ketel uap setelah dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit .....	67
11	Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap temperatur Pembakaran dan temperatur keluar ruang bakar .....	68
12	Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap temperatur Gas keluar pipa api.....	71
13	Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap $Q_{\text{steam}}$ yang dibangkitkan $Q_{\text{gas buang}}$ dan $Q_{\text{losses}}$ .....	73
14	Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap laju alir uap/ Steam yang dihasilkan dan efisiensi ketel uap.....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Nomor</b>	<b>halaman</b>
1 Hasil Analisa Proximate Batubara Pada Pemakaian Ketel Uap Sebelum Dibersihkan.....	82
2 Hasil Analisa Cangkang Biji Jambu Mete.....	83
3 Hasil Analisa Kimia Abu Batubara.....	84
4 Perhitungan Konversi Analisa Proximate ke Ultimate Batubara .....	85
5 Hasil Analisa Proximate Batubara Pada Pemakaian Ketel Uap Setelah Dibersihkan.....	86
6 Grafik Nilai Kapasitas Panas .....	89
7 Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi dan Prestasi Kerja Ketel Uap Sebelum Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Campuran 60% Batubara Lignit dan 40% Cangkang Biji Jambu Mete .....	90
8. Tabel Kondisi Proses BTU-Method Sebelum Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit .....	91
9. BTU-Method Sebelum Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit.....	92
10 Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi dan Prestasi Kerja Ketel Uap Sebelum Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit.....	93
11. Tabel Kondisi Proses BTU-Method Setelah Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit .....	94
12. BTU-Method Setelah Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit.....	95
13. Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi dan Prestasi Kerja Ketel Uap Setelah Ketel Uap Dibersihkan Menggunakan Bahan Bakar Batubara Lignit.....	96

14	Tabel Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi dan Prestasi Kerja Ketel Uap Sebelum dan Setelah Dibersihkan.....	97
15	Hasil Perhitungan Indeks Slagging dan Fouling .....	98
16	Perhitungan Ekonomi .....	99



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Dalam industri, utilitas merupakan bagian vital dari suatu proses produksi. Air, listrik dan steam merupakan bagian utama dari utilitas suatu industri harus terjamin ketersediaannya dan dipastikan terpakai secara efektif dan efisien.

PT. Indoofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar yang berdiri sejak bulan Maret tahun 1991 merupakan salah satu dari enam belas cabang yang ada di Malaysia dan Indonesia yang memproduksi produk pangan mie instant dengan merk dagang Indomie, Sarimi, Supermie, Sakura, Vitami dan Intermie merupakan salah satu industri yang menjamin ketersediaan dan memastikan terpakainya steam secara efektif dan efisien untuk keberlangsungan proses produksinya [8].

Steam di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cabang Makassar dihasilkan dari 3 unit ketel pipa api batubara berkapasitas 10,5 ton/jam. Batubara yang digunakan adalah jenis batubara Lignite yang berasal dari Kabupaten Bone Kota Makassar Propinsi Sulawesi Selatan, dengan pemakaian lebih kurang 9600 ton pertahun. Steam yang dihasilkan dari ketiga boiler ini dipakai pada sembilan line produksi untuk proses pengukusan mie instant pada steam box dan penggorengan mie

instant pada fryer serta dipakai sebagai pemanas untuk mengubah fase salah satu bahan baku yaitu minyak goreng yang kondisinya mengental akibat pengaruh temperatur saat transportasi dan saat penyimpanan di tank yard.

Salah satu permasalahan dalam pemakaian batubara lignite ini adalah tingginya kadar Sulfur yang melebihi standar yang dipersyaratkan dari tipe boiler yang digunakan di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cabang Makassar yaitu maksimum 1,8%. Tingginya kadar Sulfur ini dapat menimbulkan slagging pada ruang bakar dan fouling pada pipa api ketel uap yang dapat menghambat proses perpindahan panas.

Untuk mengurangi dampak ini, PT. Indoofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cab Makassar mencoba melakukan blending/pencampuran batubara lignite dengan cangkang jambu mete, karena pada dasarnya cangkang biji jambu mete merupakan salah satu potensi energi yang dapat diperbaharui dan ketersediaannya di Propinsi Sulawesi Selatan cukup besar. Proses pencampuran ini mengambil persentase 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete dengan tujuan untuk memperoleh nilai kandungan sulfur pada bahan bakar mencapai nilai maksimum dari yang dipersyaratkan oleh spesifikasi bahan bakar yang diperbolehkan untuk dipakai pada ketel di PT. Indoofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cab Makassar (nilai Sulfur maksimum 1,8%).

Pencampuran ini diharapkan akan mengurangi potensi terjadinya slagging dan fouling karena kandungan Sulfur pada cangkang biji jambu mete sangat rendah dengan hasil analisa laboratoriumnya tidak dapat terukur karena rendahnya kandungan Sulfurnya. Selain menstandarkan nilai kandungan Sulfur dari bahan bakar, pengambilan persentase pencampuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete ini juga didasarkan pada alasan ketersediaan cangkang biji jambu mete yang tidak bisa tersedia sebanyak ketersediaan batubara lignit.

## **B. Perumusan Masalah**

Standar kandungan Sulfur dalam bahan bakar batubara di PT. Indofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cabang Makassar melebihi dari standar yang dipersyaratkan untuk tipe ketel uap pipa api yang digunakan dan jenis pembakarannya bisa berdampak kepada timbulnya slagging dan fouling , karena hal ini maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses penggunaan batubara lignite serta bila 60% batubara lignite ini dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete terhadap efek slagging dan fouling pada Ketel Pipa Api PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar

2. Bagaimana kesetimbangan energi ketel pipa api bila menggunakan batubara lignite tanpa dicampur dengan cangkang biji jambu mete serta bila 60% batubara dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete.

### **C. Tujuan**

Tujuan yang ingin didapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa proses penggunaan batubara lignite dengan kadar Sulfur diatas 1,8 % serta bila 60% batubara lignite ini dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete terhadap efek slagging dan fouling pada ketel uap pipa api di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar
2. Menghitung kesetimbangan energi ketel pipa api bila menggunakan batubara lignite tanpa dicampur dengan cangkang biji jambu mete serta bila 60% batubara dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete



#### **D. Batasan Masalah**

Permasalahan dalam penulisan dan pembahasan pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Komposisi campuran bahan bakar adalah 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete.
2. Kondisi yang dibahas adalah sebagai berikut :
  1. Ketel uap pipa api sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete
  2. Ketel uap pipa api sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit
  3. Ketel uap pipa api setelah dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian yang bisa didapat adalah sebagai berikut :

1. Kalangan Industri  
Melalui penelitian ini, pihak industri dapat mengetahui seberapa besar prestasi kerja ketel pipa api agar dapat diaplikasikan guna dapat memaksimalkan penggunaannya
2. Kalangan Akademik  
Sebagai bahan referensi dan bahan perbandingan untuk penelitian lebih lanjut.

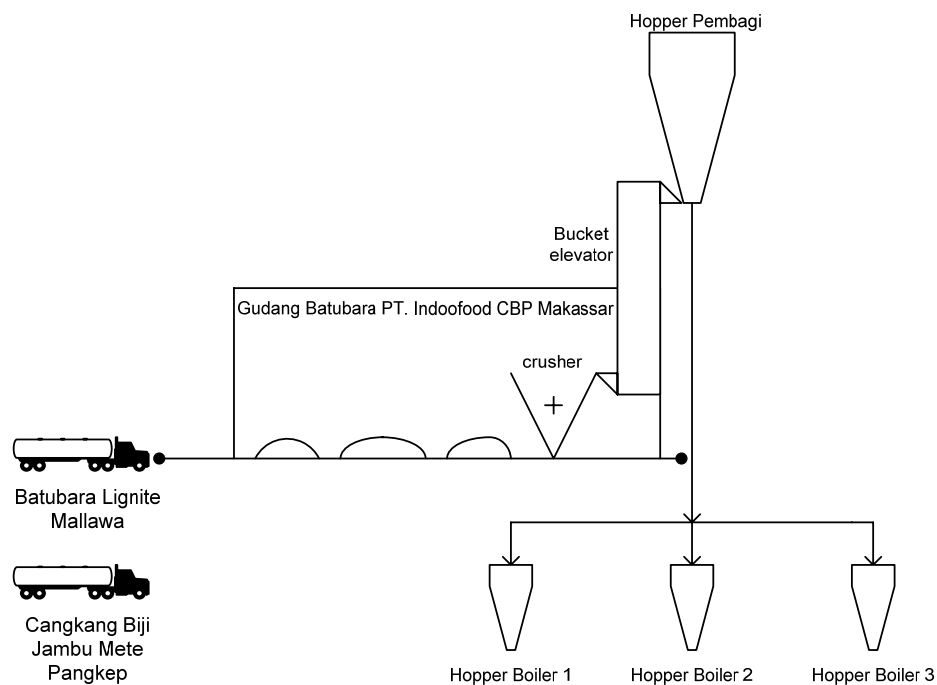


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Sistem Penanganan Batubara di PT. Indofood CBP Sukses

##### Makmur, Tbk Cabang Makassar



Gambar 1 Sistem penanganan batubara di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cab. Makassar

Penanganan batubara di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cab. Makassar diawali dengan penerimaan batubara dari beberapa penyuplai rekanan yang memiliki tambang di Kecamatan Malawa Kabupaten Bone Sulawesi Selatan menggunakan transportasi darat,

sedangkan cangkang biji jambu mete diterima dari Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan. Batubara dan cangkang jambu mete yang telah disuplai selanjutnya disimpan di gudang batubara yang terletak bersebelahan dengan ke tiga boiler tipe fire tube berkapasitas 10 ton perjam menggunakan proses pembakaran tipe chain grate.

Batubara ini selanjutnya diubah ukurannya agar sesuai dengan standar kebutuhan boiler yaitu 2,5 – 5 cm menggunakan crusher. Setelah ukurannya sesuai standar, batubara diumpankan ke feed hopper pembagi melalui single bucket elevator untuk dibagi ke hopper boiler 1, 2 dan 3 [1].

#### **B. Diagram Alir Proses di PT. Indofood CBPSukses Makmur, Tbk Cab. Makassar**

Batubara dan cangkang biji jambu mete dari masing-masing hopper batubara diatur volumenya melalui swing chute agar volume menjadi rata di setiap sisinya rata saat turun di ignition arch untuk menjalani proses pembakaran di atas chain grate. Proses pembakaran selanjutnya diawali dengan memastikan bahwa volume air di dalam boiler terisi minimal  $\frac{2}{3}$  volume boiler.

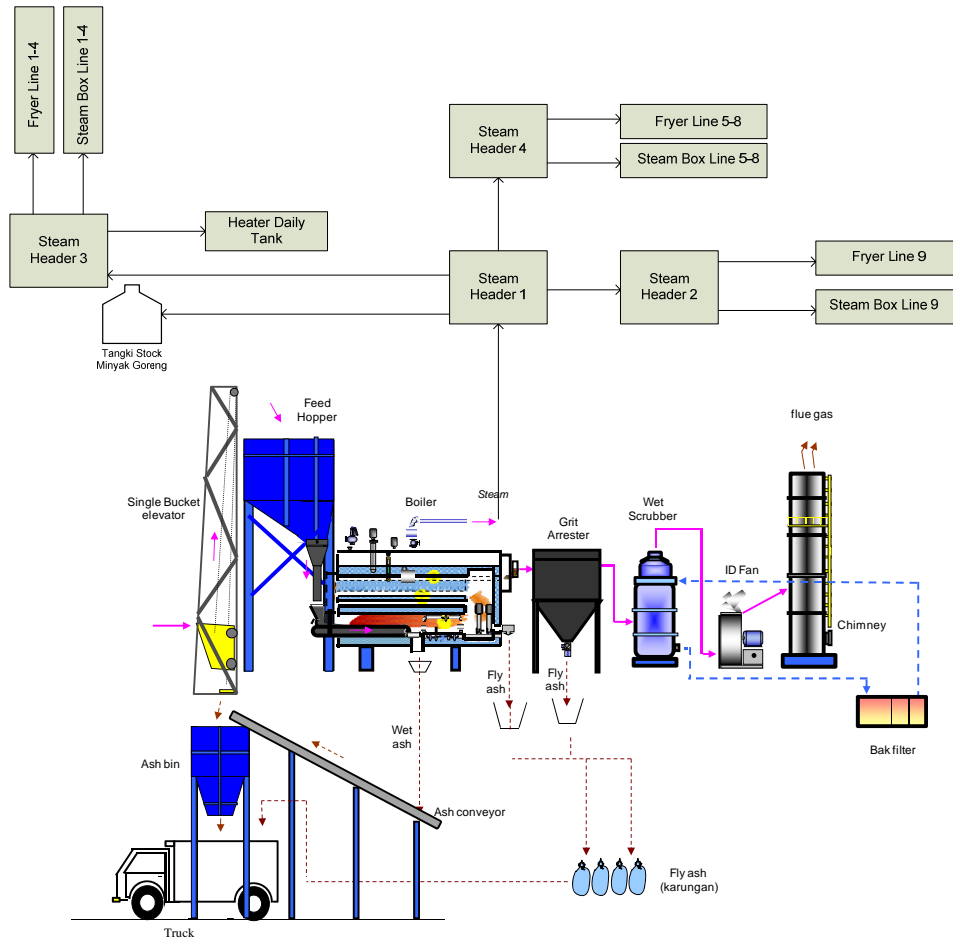
Proses pembakaran awal dilakukan dengan membakar lembaran karton dan bobin sisa etiket pembungkus mie dan nyala dari hasil pembakaran inilah yang dikontakkan ke batubara agar memicu proses pembakaran. Udara pembakaran dihembuskan ke celah-celah bagian bawah chain grate dari FD fan. Udara panas dari ruang bakar ditarik ke pipa api oleh ID fan dan melewati sistem 3 pass wet back, dimana proses

perpindahan panas dan temperatur pada boiler fire tube 3 pass wet back mengalami 2 jenis perpindahan panas yaitu radiasi dan konveksi. Pada area furnace tepatnya di atas chain grate proses transfer panas yang terjadi yaitu radiasi, selanjutnya udara panas yang dihasilkan dan ditarik oleh ID fan ke dalam pipa api dan memanaskan air pada pipa air mengalami proses konveksi dari pipa api ke pipa air pada pass back ke 2 dan ke 3.

Sisa hasil pembakaran berupa wet ash jatuh pada ujung chain grate sedangkan fly ash terpisah melalui tiga tahap yaitu untuk fly ash yang agak berat akan jatuh di bottom ash sebelum masuk ke pipa api atau pada ujung ruang bakar, selanjutnya fly ash yang masih terikut di pipa api akan ditangkap pada ujung pipa api oleh grits arester dan yang terakhir fly ash akan di tangkap di wet scrubber sebelum keluar melalui cerobong.

Steam yang dihasilkan dari ketiga ketel pipa api berkapasitas 10 ton/jam ini selanjutnya dipakai untuk keperluan memanaskan stock minyak goreng di tank yard serta dipakai di sembilan lini proses produksi mie yaitu untuk mengukus mie di steam box dan memanaskan minyak goreng di fryer untuk proses penggorengan mie [5].

Diagram alir Proses di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cab. Makassar diperlihatkan pada gambar 2 berikut



Gambar 2 Diagram alir proses di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Cabang Makassar

## **C. Batubara**

### **C.1 Produksi dan Konsumsi Batubara**

Dunia saat ini mengkonsumsi batubara sebanyak lebih dari 4050 juta sebagai suatu kenaikan sebesar 38% selama 20 tahun terakhir. Batubara dipergunakan diberbagai sektor termasuk pembangkit listrik dan keperluan pembangkit steam pada industri. Pertumbuhan produksi batubara yang tercepat terjadi di Asia, sementara produksi batubara di Eropa menunjukkan penurunan.

Negara penghasil batubara terbesar tidak hanya terbatas pada satu daerah. Lima negara penghasil batubara terbesar adalah Cina, AS, India, Australia dan Afrika Selatan. Sebagian besar produksi batubara dunia digunakan di tempat batubara tersebut diproduksi, hanya 18% dari batubara jenis antrasit yang diperdagangkan di Internasional.

Produksi batubara dunia diharapkan mencapai 70 milyar ton pada tahun 2030 dengan Cina memproduksi sekitar setengah dari kenaikan itu selama jangka waktu tersebut. Produksi batubara ketel uap diprediksikan akan mencapai 5,2 milyar ton tumbuh sebesar 1,5% pertahun dalam jangka waktu 2002 – 2030 dan 1% pertahun khusus untuk kenaikan batubara muda (lignite).

Batubara adalah salah satu energi yang penting bagi dunia, yang digunakan untuk menghasilkan listrik hampir 40% di seluruh dunia. Dibanyak negara angka-angka ini jauh lebih tinggi : Polandia menggunakan batubara lebih dari 94% untuk pembangkit listrik, Afrika Selatan 92%, Cina 77% dan Australia 76%. Batubara merupakan sumber energi yang mengalami pertumbuhan yang paling cepat di dunia lebih cepat dari gas, minyak, nuklir, air dan sumber daya pengganti.

Batubara telah memainkan peran yang sangat penting selama berabad-abad tidak hanya membangkitkan listrik, namun juga merupakan bahan bakar utama untuk menghasilkan steam pada kegiatan-kegiatan industri.

Pasar global batubara sangat besar dan beragam dengan berbagai produsen dan konsumen disetiap benua. Pasokan batubara tidak berasal dari satu daerah tertentu, yang dapat membuat konsumen bergantung pada keamanan pasokan dan stabilitas satu daerah saja. Batubara tersebar diseluruh dunia dan diperdagangkan secara Internasional.

Banyak negara yang mengandalkan pasokan batubara domestik untuk kebutuhan energi mereka seperti Cina, India, Australia dan Afrika Selatan. Negara lain mengimpor batubara dari berbagai negara. Oleh karena itu batubara memiliki peran yang penting dalam memelihara keselamatan kombinasi energi dunia. Peran tersebut adalah :



- Cadangan batubara sangat banyak dan akan tersedia untuk masa depan yang sudah dapat diperkirakan tanpa menimbulkan masalah geopolitik dan keamanan
- Batubara tersedia dari berbagai sumber yang banyak pada pasar dunia yang terpasok dengan baik
- Batubara dapat dengan mudah disimpan di pembangkit dan persediaannya dapat digunakan dalam keadaan darurat
- Pembangkit menggunakan batubara tidak tergantung pada cuaca dan dapat digunakan sebagai pendukung pembangkit listrik tenaga angin dan air
- Batubara tidak memerlukan jaringan pipa dengan tekanan tinggi atau jalur pasokan khusus
- Jalur pasokan batubara tidak perlu penjagaan yang membutuhkan biaya yang tinggi [4].

## **C.2 Proses Pembentukan Batubara**

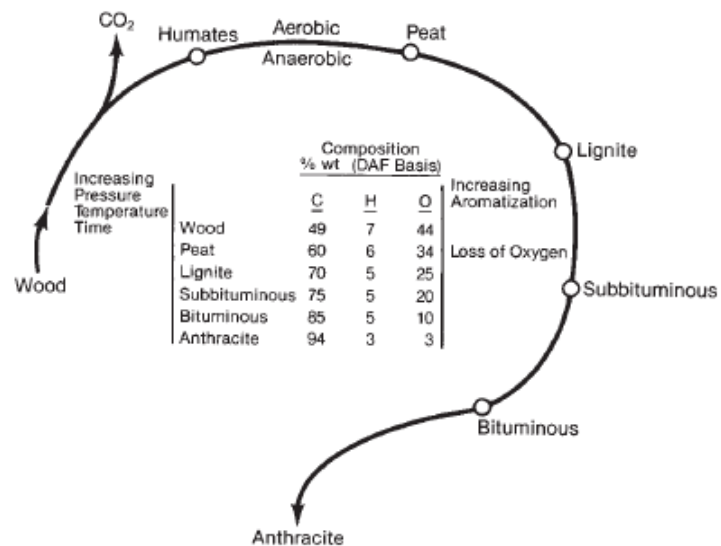
Penimbunan lanau dan sedimen lainnya bersama dengan pergeseran kerak bumi (dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang seringkali sampai kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan tinggi. Suhu dan tekanan tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian batubara.

Pembentukan batubara dimulai sejak Carboniferous Period (Periode pembentukan carbon atau batubara) dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu.

Mutu dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai “maturitas organik”. Proses awalnya gambut berubah menjadi lignite (batubara muda) atau “brown coal” (batubabara coklat) dengan jenis maturitas organik rendah. Dibandingkan dengan jenis batubara jenis lainnya, batubara muda agak lembut dan warnanya bervariasi dari hitam pekat sampai kecoklatan. Mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus selama jutaan tahun, batubara muda mengalami perubahan secara bertahap menambah maturitas organiknya dengan mengubah batubara muda menjadi batubara “sub-bituminus” . Perubahan kimia dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk “bituminus”. Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk “antrasit”.

Variasi fisika dan kimia selama proses pembentukan batubara, dimana dengan adanya tekanan dan temperatur menyebabkan terjadi perubahan material organik dan mengakibatkan perubahan struktur kimia, perubahan ini berdasarkan penambahan kandungan karbon mengikuti

pengurangan air, oksigen dan hidrogen. Proses ini digambarkan pada gambar 3 berikut [7] :



Gambar 3. Proses pembentukan batubara (DAF = dry ash free)<sup>[6]</sup>

### C.3 Klasifikasi Batubara

Sistem klasifikasi batubara dibutuhkan karena batubara merupakan senyawa yang heterogen dengan sifat dan komposisi yang luas, ini dapat diindikasikan dalam proses pembentukan batubara dari lignite ke subbituminous, bituminous dan anthracite.

Sistem American Society for Testing and Materials (ASTM) mengklasifikasikan batubara berdasarkan peringkatnya menggunakan volatile matter (VM) and fixed carbon (FC) melalui analisa proximate

sebagai kriteria peringkat nilai kalor. Sistem Klasifikasi ini diberikan pada tabel 1 berikut :

Tabel.1. Klasifikasi batubara berdasarkan peringkat <sup>[6]</sup>

Class	Group	Fixed Carbon Limits, % (Dry, Mineral- Matter-Free Basis)		Volatile Matter Limits, % (Dry, Mineral- Matter-Free Basis)		Caloric Value Limits, Btu/lb (Moist, <sup>b</sup> Mineral-Matter- Free Basis)		Agglomerating Character
		Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Greater Than	Less Than	
I. Anthracitic	1. Meta-anthracite	98	-	-	2	-	-	Nonagglomerating
	2. Anthracite	92	98	2	8	-	-	
	3. Semianthracite <sup>c</sup>	86	92	8	14	-	-	
II. Bituminous	1. Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	-	-	Commonly agglomerating <sup>c</sup>
	2. Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	-	-	
	3. High volatile A bituminous coal	-	69	31	-	14,000 <sup>d</sup>	-	
	4. High volatile B bituminous coal	-	-	-	-	13,000 <sup>d</sup>	14,000	
	5. High volatile C bituminous coal	-	-	-	-	11,500	13,000	
					10,500 <sup>e</sup>	11,500	Agglomerating	
III. Subbituminous	1. Subbituminous A coal	-	-	-	-	10,500	11,500	Nonagglomerating
	2. Subbituminous B coal	-	-	-	-	9,500	10,500	
	3. Subbituminous C coal	-	-	-	-	8,300	9,500	
IV. Lignitic	1. Lignite A	-	-	-	-	6,300	8,300	Nonagglomerating
	2. Lignite B	-	-	-	-	-	6,300	

#### C.4 Komposisi Batubara

Komposisi batubara terbagi menjadi 2 yaitu komposisi fisika dan komposisi kimia, komposisi fisika terdiri dari kandungan air dan nilai kalor, sedangkan komposisi kimia antara lain : volatile matter, ash, Carbon, Hidrogen, Sulfur, Nitrogen dan oksigen.

Komposisi batubara dapat dianalisa berdasarkan 2 jenis analisa yaitu analisa proximate dan analisa ultimate. Contoh analisa ultimate dan proximate diberikan pada tabel 2

Tabel 2. Analisa proximate dan ultimate<sup>[6]</sup>

Proximate Analysis		Ultimate Analysis	
Component	% by wt	Component	% by wt
Moisture	2.5	Moisture	2.5
Volatile matter	37.6	Carbon	75.0
Fixed carbon	52.9	Hydrogen	5.0
Ash	7.0	Sulfur	2.3
Total	100.0	Nitrogen	1.5
		Oxygen	6.7
Heating value, Btu/lb	13,000	Ash	7.0
(kJ/kg)	(30,238)	Total	100.0

### C.3 Klasifikasi Batubara di PT Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar

Adapun klasifikasi batubara yang digunakan PT.Indofood Cabang Makassar adalah batubara produksi rakyat dari Kecamatan Malawa Kabupaten Bone Propensi Sulawesi Selatan, yang dibawa ke Makassar dengan truk, jaraknya kurang lebih 100 km dari Makassar. Batubara ini termasuk dalam klasifikasi batubara lignit karena kandungan Fixed Karbon yang rendah sekitar 37.1 % wt, dan Nilai Kalor Atas (Gross Calorific Value) adalah 6.239 kcal/kg. Hasil pengujian Laboratorium Sucofindo Cabang Makassar tanggal 4 Januari 2013, berdasarkan uji Proksimasi didapatkan :

Parameter	Unit	Test Results
. Total Moisture	% wt	12.5
. Ash Content	% wt	10.9
. Volatile Matter	% wt	42.8
. Fixed Carbon	% wt	37.1
. Total Sulfur	% wt	3.10
. Gross Calorific Value	kcal/kg	6.239

#### **D. Jambu Mete**

Potensi jambu mete di Indonesia sangat besar. Produksi jambu mete dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Pada tahun 1999 produksi jambu mete mencapai 88.658 ton gelondong, dan pada tahun 2002 meningkat menjadi 94.439 ton (BPS,2002). Produksi ini akan terus meningkat, mengingat Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan telah melaksanakan berbagai program untuk memacu perluasan dan peningkatan produksi jambu mete, khususnya di Kawasan Timur Indonesia. Tanaman jambu mete memiliki keunggulan karena dapat dikembangkan pada daerah yang memiliki kondisi agroekologi marginal dan beriklim kering, sehingga merupakan komodita andalan di Kawasan Timur Indonesia seperti Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur.

### **Cangkang Biji Jambu Mete**

Biji jambu mete terdiri dari 70 % kulit biji dan 30% daging biji. Dan dalam kulit biji (shell) mengandung minyak sekitar 50% yang terdiri dari 80,9% asam anakardat, dan 13,78% fenol yang biasa disebut kardol, 1,59% kardanol dan 2,64% 2 metil kardol. Dalam istilah perdagangan. Minyak kulit biji mete dikenal sebagai minyak laka atau *Cashew nut shell liquid* (CNSL).

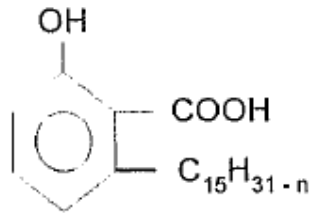
Asam anakardat merupakan asam salisilat yang telah mengalami substitusi memiliki sifat termolabil, dan akan terdekomposisi menjadi kardanol dan CO<sub>2</sub> akibat pengaruh pemanasan. Sifat-sifat asam anakardat antara lain :

- memiliki rumus molekul C<sub>18</sub>H<sub>23</sub>O<sub>3</sub> ,
- nilai kalor 5856,13 kal/g,
- memiliki kandungan Carbon 21,45%
- memiliki kadar air 4,11%
- spgr 1,009
- pH 4,3
- kadar abu 1,05%
- bilangan lod 206

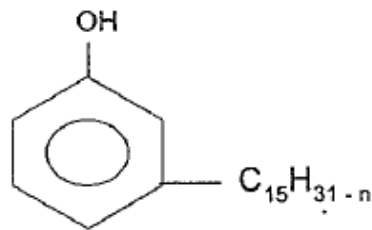
Struktur kimia komponen-komponen utama penyusun CNSL

adalah sebagai berikut :

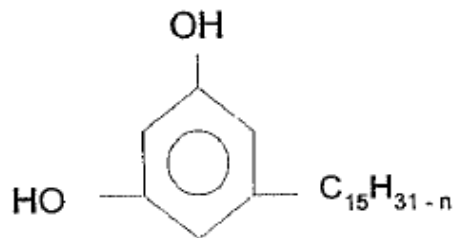
1. Asam anakardat (suatu asam salisilat yang telah mengalami substitusi)



2. Kardanol (fenol yang telah mengalami substitusi pada posisi meta)



3. Kardol (Resolsinol yang telah mengalami substitusi) [9]





### E. Potensi Slagging dan Fouling

Mineral-mineral dalam batubara atau Partikel abu/ash pada batubara merupakan sumber deposit pada proses slagging dan fouling di boiler, mineral-mineral ini dibagi menjadi beberapa group antara lain clay mineral (aluminosilicates), sulfides/sulfates, carbonates, chlorides, silica/silicates and oxides. Mineral-mineral ini ditunjukkan dalam tabel 3 berikut :

Tabel 3 Mineral-mineral batubara

Common Minerals Found in Coal	
Clay minerals:	
Montmorillonite	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Illite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Kaolinite	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Sulfide minerals:	
Pyrite	$\text{FeS}_2$
Marcasite	$\text{FeS}_2$
Sulfate minerals:	
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Anhydrite	$\text{CaSO}_4$
Jarosite	$(\text{Na}, \text{K})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Carbonate minerals:	
Calcite	$\text{CaCO}_3$
Dolomite	$(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$
Siderite	$\text{FeCO}_3$
Ankerite	$(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$
Chloride minerals:	
Halite	$\text{NaCl}$
Sylvite	$\text{KCl}$
Silicate minerals:	
Quartz	$\text{SiO}_2$
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Orthoclase	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Oxide minerals:	
Hematite	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Magnetite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Rutile	$\text{TiO}_2$

Pada batubara lignite nilai yang tinggi adalah logam-logam alkali yaitu Calcium, Magnesium dan Natrium/Sodium yang terkandung di dalam ash content. Selama pembakaran, ash content terkena temperatur tinggi hingga  $1649^{\circ}\text{C}$  sehingga logam – logam alkali terdekomposisi dari senyawa ash content serta mengalami proses pendinginan. Pada zona pembakaran dengan temperatur tinggi terjadi oksidasi dan reduksi yang kuat sehingga mineral-mineral yang terkandung di dalam ash bereaksi satu sama lain serta bereaksi dengan kandungan organik dan anorganik batubara serta dengan gas-gas hasil pembakaran seperti  $\text{SO}_2$ . Senyawa-senyawa yang terbentuk oleh interaksi material-material inilah yang menyebabkan permasalahan deposition/endapan.

Endapan yang terbentuk pada ruang bakar (slagging) akan menyebabkan energi radiasi dari ruang bakar menuju pipa air berkurang dan endapan yang terbentuk dalam pipa api (fouling) mengakibatkan temperatur keluar pipa api masih cukup tinggi akibat endapan yang menempel di pipa api yang menghambat transfer temperatur dari pipa api ke pipa air. Fenomena berkurangnya energi radiasi ke pipa air dan terhambatnya transfer panas dari pipa api ke pipa air menurunkan kualitas uap yang dihasilkan [6].

### **E.1 Slagging**

Slagging adalah fenomena menempelnya lelehan partikel abu pada dinding ruang bakar akibat terdekomposisinya senyawa alkali (ash content) yang terkandung di dalam batubara pada temperatur ruang bakar yang lebih tinggi dari temperatur leleh abu.

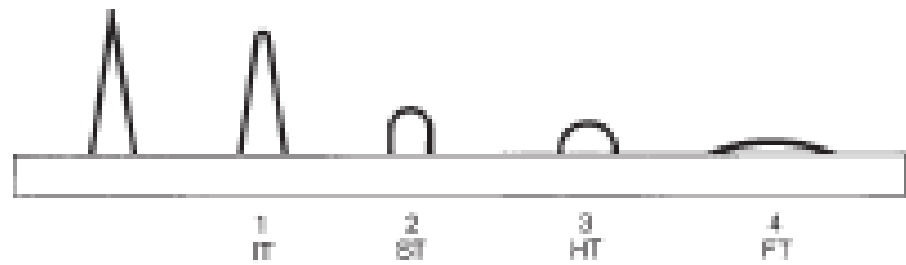
#### **Temperatur Leleh Abu/Fusibility Ash Temperature**

Klasifikasi batubara dibedakan terutama pada kandungan carbon dan nilai kalor dari batubara. Klasifikasi ini adalah : Antrasit, Bituminous, Subbituminous dan Lignit.

Perbedaan carbon dan nilai kalor dari klasifikasi batubara ini menyebabkan fusibility ash temperature berbeda. Makin tinggi kandungan karbon dan nilai kalor dari klasifikasi batubara makin tinggi pula fusibility ash temperature batubara tersebut. Yang tertinggi adalah batubara antrasit, kemudian bituminous, subbituminous dan yang paling memiliki fusibility ash temperature rendah adalah batubara lignit. Selama proses pembakaran, partikel ash dihadapkan dengan ketinggian temperatur sekitar 3000 °F (1649 °C). Di zona burner, temperatur bervariasi dari highly oxidizing sampai highly reducing. Ada empat temperatur deformasi yang terdapat pada ash batubara, Babcock & Wilcox (2005) :

1. Initial deformation temperature ( IT or ID)  
Dimana bentuk dari ash pada permukaan dinding menyerupai bentuk piramid. Untuk batubara lignit : IT = 1.975 °F (Reducing) dan 2.070 °F (Oxidizing). Temperatur deformasi awal.
2. Softening temperature (ST)  
Dimana bentuk ash dari piramid menjadi spherical shape. Dimana tinggi spherical (H) sama dengan width (W), jadi  $H = W$ . Batubara lignit : ST=2.130 °F (Reducing) dan 2.190 °F (Oxidizing). Ini adalah temperature pelunakan
3. Hemispherical temperature (HT):  
lignit : HT = 2.150 °F (Reducing) dan 2.210 °F (Oxidizing). Ini adalah temperature pelunakan
4. Fluid temperature (FT) :  
Temperatur ini menyebabkan ash yang berbentuk hemispherical mencair dan membentuk lapisan yang hampir rata, dengan ketinggian maksimum 1.59 mm. Batubara lignit. FT = 2.240 °F (Reducing) dan 2.290 °F (Oxidizing).

Gambar.4 menunjukkan perubahan bentuk dari ash akibat dari temperature pembakaran dalam ketel.



Gambar 4. Bentuk spesifik ash dan perubahan bentuk akibat dari temperatur pembakaran<sup>[6]</sup>

Gambar 5 berikut menunjukkan bentuk endapan yang terjadi di ruang bakar (slagging).



Gambar 5 Slagging pada ruang bakar

## E.2 Fouling

Fouling adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu terbang (fly ash) yang terbawa pada gas hasil pembakaran pada bagian dalam pipa api akibat adanya penurunan temperatur.

Karena pada batubara lignite kandungan mineral yang tinggi adalah logam-logam alkali, maka klasifikasi fouling untuk ash adalah berdasarkan kandungan sodium dalam ash.

Fouling menyebabkan temperatur di dalam pipa api sulit untuk ditransfer ke pipa air, sehingga nilai temperatur gas keluar pipa api masih cukup tinggi [6].

Gambar 6 berikut menunjukkan bentuk endapan yang terjadi di dalam pipa air (fouling).



Gambar 6. Fouling di dalam pipa api

### E.3 Klasifikasi Ash/Abu

Kajian pembentukan slagging dan fouling dari ash batubara ditentukan berdasarkan ketentuan dari pustaka Steam its generation and use, Edisi 41, Babcock & Wicox 2005 Bab 21.

Ash batubara terdiri dari beberapa komposisi berdasarkan hasil analisis ash dalam persen berat :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ .

a. Klasifikasi batubara bituminous bila kandungan ash batubara :

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{MgO}$$

Klasifikasi batubara lignit bila kandungan ash batubara

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{CaO} + \text{MgO}$$

b. Slaging Indek : Lignit ash ( $R_s^*$ ) :

$$R_s^* = [(\text{Max HT}) + 4 (\text{Min IT})]/4$$

Klasifikasi potensial slaging dengan menggunakan  $R_s^*$  sebagaiberikut :

$$2450 < R_s^* \quad = \text{low}$$

$$2250 < R_s^* < 2450 \quad = \text{medium}$$

$$2100 < R_s^* < 2250 \quad = \text{high}$$

$$R_s^* < 2100 \quad = \text{severe}$$

c. Slaging Index – rasio asam dan persen berat dry basis Sulfur

Perhitungan berdasarkan base untuk rasio asam dan persen berat pada dry basis dari Sulfur dalam batubara maka indeks slagging ( $R_s^*$ ) dihitung dengan :

$$R_s = \left( \frac{B}{A} \right) \times S$$

Dimana :

B =  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

A =  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$

S = Persentase berat Sulfur pada dry basis batubara

Klasifikasi potensial slagging menggunakan  $R_s$  adalah :

$R_s < 0,6$  = rendah

$0,6 < R_s < 2,0$  = sedang

$2,0 < R_s < 2,6$  = tinggi

$2,6 < R_s$  = sangat tinggi



d. Fouling index – lignit ash

Klasifikasi fouling dari ash batubara lignit ditentukan oleh kandungan sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) dalam ash, penentuannya sebagai berikut :

- Bila  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$  berdasarkan berat ash

$\text{Na}_2\text{O} < 3$  = rendah - sedang

$3.0 < \text{Na}_2\text{O} < 6$  = tinggi

$\text{Na}_2\text{O} > 6$  = tinggi sekali

- Bila  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 < 20\%$  berdasarkan berat ash

$\text{Na}_2\text{O} < 1.2$  = rendah - sedang

$1.2 < \text{Na}_2\text{O} < 3$  = tinggi

$\text{Na}_2\text{O} > 3$  = tinggi sekali

Dari uraian diatas maka slaging dan fouling yang disebabkan oleh ash batubara dapat diketahui untuk bahan bakar batubara yang digunakan di PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar, bila ash batubara ini diuji di Laboratorium.

e. Fouling Factor,  $R_f$  pada sisi air

Fouling factor  $R_f$  yang oleh diakibatkan oleh air pada permukaan luar pipa api, tergantung pada temperatur operasi. Persamaan dari fouling factor, Incropera, et al (1996).

$$R_f = 1/U_{\text{dirty}} - 1/U_{\text{clean}}$$

Beberapa harga  $R_f$  dapat dilihat pada tabel buku perpindahan panas [6].

## **F. Spesifikasi Bahan Bakar yang Digunakan untuk Ketel Pipa Api Stocker Thompson Triumph MK 4**

Karakteristik batubara yang mempengaruhi output dan efisiensi maksimum pembakaran menggunakan batubara Pea grade A atau batubara yang memiliki nilai kalori berkisar 6573 kcal/kg – 6812 kcal/kg adalah sebagai berikut :

1. Nilai Kalori dan Kadar Abu/Ash Content
2. Volatile Content dan pengapian/ignition
3. Ukuran batubara dan pemisahan/segregation
4. Ash Fusion Temperature
5. Moisture Content
6. Ketebalan bahan bakar di atas chanin grate
7. Unsur-unsur kimia sebagai unsur penelusuran

1. Nilai Kalori dan Ash Content

Nilai kalori batubara biasanya dinyatakan dalam air-dried basis/basis kering. Grade Batubara Gauteng adalah sebagai berikut :

- Grade A 27,5 – 28,5 MJ/kg                      atau 6573 kcal/kg - 6812 kcal/kg
- Grade B 26,5 – 27,5 MJ/kg                      atau 6334 kcal/kg – 6573 kcal/kg
- Grade C 25,5 – 26,5 MJ/kg                      atau 6095 kcal/kg – 6334 kcal/kg
- Grade D dibawah 25,5 MJ/kg                      atau dibawah 6095 kcal/kg

Nilai kalori dan ash content batubara terkait erat. Jika ash content naik maka nilai kalor akan jatuh/turun. Meningkatnya ash content akan menambah jumlah carbon yang tak terbakar / unburned carbon karena peningkatan ash content mengurangi temperatur pembakaran sehingga sulit bagi udara pembakaran untuk mencapai/membakar carbon yang tidak terbakar.

## 2. Volatile Content dan Ignation/Pembakaran

Batubara memiliki temperatur penyalaan/ignition temperature sekitar 400°C sementara volatile content terlepas/menguap pada temperatur berkisar 150°C. Setelah dipanaskan secara radiasi, volatile yang telah lepas bercampur dengan udara pembakaran untuk proses pembakaran di atas chain grate.

Campuran volatile content dan udara pembakaran ini menambah keturbulenan gas dan turun menuju batubara yang akan dibakar dan menambah efek pembakaran di atas chain grate dan menambah/menaikkan temperatur pembakaran. Bila volatile content rendah perambatan api menuju batubara sulit terjadi. Kualitas volatile content batubara minimal 23%.

## 3. Ukuran batubara dan pemisahan/segregation

Ketebalan batubara di atas chain grate tergantung pada tipe batubara dan ukurannya. Normalnya ketebalan batubara di atas chain grate mencapai 6 – 8 kali dari ukuran batubara. Ukuran maksimum

partikel batubara yang tidak melalui proses pencucian adalah 150-200 mm.

#### 4. Temperatur peleburan Abu/Ash Fusion Temperature

Temperatur peleburan abu mengikuti range :

$$1280^{\circ}\text{C} < \text{TPA} < 1400^{\circ}\text{C}$$

#### 5. Moisture Content

Moisture Content membantu pengikatan partikel halus agar bisa tetap pada chain grate untuk proses pembakaran dan membantu radiasi transfer panas. Kandungan moisture untuk pembakaran dibatasi bernilai 8%.

#### 6. Ketebalan bahan bakar di atas chain grate

Ketebalan bahan bakar di atas chain grate untuk bahan bakar yang tidak dicuci adalah 4 – 6 kali dari ukuran partikel batubara (100 – 150 mm) sedangkan untuk bahan bakar yang dicuci adalah 6 – 8 kali dari ukuran partikel batubara (150 – 200 mm).

## 7. Unsur-unsur kimia sebagai unsur penelusuran

Ada empat unsur kimia pada batubara yang mempengaruhi pengoperasian ketel, unsur tersebut adalah sebagai berikut :

1. Chlorine
2. Phosphorus
3. Sulphur
4. Iron (didalam ash/abu)

Range impuritis batubara terlihat pada tabel 4 berikut

Tabel 4. Range impuritis batubara<sup>[1]</sup>

Impuritis batubara	Range		
	Tinggi	Sedang	Rendah
Chlorine	>0,3	0,15 – 0,3	<0,15
Phosphorus	>0,1	0,03 – 0,1	<0,03
Sulphur	>1,8	1,3 – 1,8	<1,3
Iron (didalam ash/abu)	>8,0	4,0 – 8,0	<4,0



