

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan teori - teori yang diperlukan dalam mendukung perancangan, sehingga pelaksanaan pembuatan alat dilakukan secara teoritis.

#### **2.1. Defenisi Batu Bara.**

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur - unsur utamanya terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit. Batu bara ini terbentuk dari endapan sisa tumbuhan dan fosil pada iklim purba sekitar khatulistiwa yang mirip dengan kondisi kini. Beberapa diantaranya tergolong kubah gambut yang terbentuk di atas muka air tanah rata-rata pada iklim basah sepanjang tahun. Dengan kata lain, kubah gambut ini terbentuk pada kondisi dimana mineral-mineral anorganik yang terbawa air dapat masuk ke dalam sistem dan membentuk lapisan batu bara yang berkadar abu dan sulfur rendah dan menebal secara lokal.

Adapun faktor – faktor yang berpengaruh terhadap proses pembentukan batu bara

ialah :

- a. Faktor Geoteknik
- b. Topografi (morfologi)
- c. Iklim
- d. Penurunan
- e. Umur geologi
- f. Tumbuh – tumbuhan
- g. Dekomposisi
- h. Sejarah dan pengendapan
- i. Struktur cekungan batu bara
- j. Metamorfosis organik



**Gambar 2.1 : Batu bara (kokas)**

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*).

Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang.

Proses pembentukan batubara sangat mempengaruhi kualitas dari batubara itu sendiri. Semakin padat batubara tersebut akibat tekanan alami yang dialaminya, akan semakin tinggi kualitasnya. Berdasarkan kualitas inilah batubara lebih lanjut diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu:

- *Lignite* atau juga dikenal dengan sebutan batubara coklat, adalah jenis batubara yang paling rendah kualitasnya. Banyak ditambang di Yunani, Jerman, Polandia, Serbia, Rusia, Amerika Serikat, India, Australia, dan beberapa bagian negara-negara Eropa. Batubara jenis ini banyak digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap. Namun karena jenis ini memiliki energi konten rendah dan kandungan *moisture* yang tinggi, maka sangat tidak efisien untuk ditransportasikan ke tempat yang jauh. Untuk itu pembangkit listrik yang menggunakan batubara jenis ini dibangun di lokasi yang cukup dekat dengan lokasi penambangannya.

- *Sub-bituminous* adalah jenis batubara sedang di antara jenis *lignite* dan jenis *bituminous*. Secara fisik memiliki ciri-ciri berwarna coklat gelap cenderung hitam. Memiliki kandungan kelembaban yang lebih rendah dari jenis *lignite* dan cocok digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap.
- *Bituminous*, adalah jenis batubara yang lebih tinggi tingkatan kualitasnya. Mayoritas berwarna hitam, namun kadang masih ada yang berwarna coklat tua. Dinamakan *bituminous* dikarenakan adanya kandungan *bitumen*/aspal. Batubara jenis ini memiliki kandungan karbon sebanyak 60-80%, dan sisanya berupa air, udara, hidrogen, dan sulfur.
- *Anthracite* adalah jenis batubara yang paling baik kualitasnya. Jenis ini memiliki kandungan karbon sebesar 92,1% sampai dengan 98%, sehingga berwarna hitam mengkilap. Penggunaan batubara *anthracite* pada pembangkit listrik tenaga uap, masuk ke dalam jenis batubara *High Grade* dan *Ultra High Grade*. Namun persediaannya masih sangat terbatas, yaitu sebanyak 1% dari total penambangan batubara. Negara penghasil batubara ini antara lain adalah Cina, Rusia, Ukraina, Korea Utara, Vietnam, Inggris, Australia, dan Amerika Serikat.

## 2.2 Definisi Kokas

Kokas dibuat dari campuran batubara bitumen pilihan (disebut batubara metalurgi atau batubara kokas) di oven khusus bersuhu tinggi tanpa kontak dengan udara sampai hampir semua zat volatil dikeluarkan. Produk yang dihasilkan, kokas, utamanya terdiri dari karbon.

Satu short ton batubara menghasilkan sekitar 1.400 pound kokas dan berbagai produk sampingan seperti batubara, minyak ringan, dan amonia, yang disempurnakan untuk menghasilkan berbagai produk kimia. Sekitar 1.100 pound kokas dikonsumsi untuk setiap short ton *pig iron* yang dihasilkan.

Industri kokas dulunya merupakan pasar utama batubara di Amerika Serikat, terhitung mencapai sekitar seperempat dari konsumsi batubara AS di akhir 1950-an. Sejak itu, produksi kokas jatuh secara dramatis dan pangsa total konsumsi batubara kokas saat ini berada di sekitar 4 persen karena penurunan permintaan industri besi dan baja AS, konsumen utama kokas. Secara umum, industri besi dan baja AS saat ini membutuhkan lebih sedikit kokas karena hanya menghasilkan sejumlah kecil baja mentah, karena mengandalkan impor baja jadi dan setengah jadi untuk memenuhi kebutuhannya, dan karena teknologi *blast furnace* telah semakin maju dan dapat mengurangi jumlah kokas yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu ton *pig iron*.

Selain itu, kokas sudah semakin sedikit dibutuhkan karena adanya penggunaan teknologi tertentu yang secara luas digunakan dalam pembuatan baja, seperti tungku oksigen dasar, yang memungkinkan besi tua untuk menggantikan *pig iron* di beberapa proses; dan tungku listrik, yang menghasilkan baja dari bahan baku yang terdiri dari 99 persen besi dan baja daur ulang dan 1 persen pelet besi. Penggantian produk lainnya untuk baja (seperti plastik, aluminium, magnesium, dan titanium) juga secara tidak langsung mengurangi kebutuhan kokas.

Salah satu perkembangan teknologi terbaru yang bertanggung jawab untuk mengurangi penggunaan kokas di *blast furnace* adalah penggunaan injeksi bubuk batubara ( PCI, *pulverized coal injection* ), proses yang dikembangkan pada tahun 1960

-an oleh Armco Baja. Dengan menggunakan injeksi bubuk batubara, perusahaan baja dapat mengurangi kebutuhan kokas sebanyak 40 persen, mengurangi masalah lingkungan yang terkait dengan produksi kokas, dan mengurangi kebutuhan yang lainnya, yaitu bahan bakar tambahan yang lebih mahal pada *blast furnace*, seperti gas alam. Bubuk batubara terbuat dari batubara dari tingkat yang lebih rendah dan relatif berlimpah, kemudian ditiupkan ke *blast furnace*. Batubara granular, ukurannya sama dengan gula, juga sedang diuji dalam *blast furnace*.

Industri besi dan baja di beberapa negara terbatas hanya untuk perlakuan (*treatment*) dan penyelesaian (*finishing*) baja, tanpa adanya produksi kokas atau pengoperasian *blast furnace*. Pabrik yang menggabungkan produksi kokas dan 7 tahapan produksi besi serta *treatment* dan *finishing* baja dikenal sebagai pabrik baja terpadu. Pada pembuatan kokas dan produksi gas *coke-oven*, dan minyak, kokas disaring setelah produksi dan serbuk kokas (*coke breeze*) digunakan untuk operasi fasilitas sinter. Kokas dimuat ke dalam *blast furnace*.

### **2.3 KARAKTERISTIK KUALITAS BATUBARA**

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification (rank)*. Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat.

Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan Analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang. Kualitas batubara ini diperlukan untuk menentukan apakah batubara tersebut menguntungkan untuk ditambang selain dilihat dari besarnya cadangan batubara di daerah penelitian.

Untuk menentukan jenis batubara, digunakan klasifikasi American Society for Testing and Material (ASTM, 1981, op cit Wood et al., 1983) ( Tabel ).

Klasifikasi ini dibuat berdasarkan jumlah karbon padat dan nilai kalori dalam basis drymineral matter free (dmmf). Untuk mengubah basis air dried (adb) menjadi dry mineral matter free (dmmf) maka digunakan Parr Formulas (ASTM, 1981, op cit Wood et al., 1983) :

dimana :

A. FC = % karbon padat (adb)

VM = % zat terbang (adb)

M = % air total (adb)

A = % Abu (adb)

S = % sulfur (adb)

Btu = british termal unit = 1,8185\*CV adb

B. Istilah – istilah basis :

As Received disingkat : ar

Air Dried disingkat : ad atau adb

Dry disingkat : db

Dry Ash Free disingkat : daf

Dry Mineral Matter Free disingkat : dmmf

Klasifikasi batubara berdasarkan tingkatnya (ASTM, 1981, *op cit* Wood *et al.*, 1983)

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

Sumber : Kirk-Othmer, Volume 6

Ketentuan-ketentuan (clauses) yang paling sering dimasukkan dalam kontrak penjualan batubara (coal sales contract) secara internasional meliputi sebagai berikut :

- a. jenis batubara (coal brand),
- b. spesifikasi batubara (coal specification),
- c. masa kontrak (contract period),
- d. jadwal pemasokan jumlah tonase batubara (tonnage supply schedule),
- e. harga dasar (basic price),
- f. kenaikan harga (escalation),
- g. hadiah/denda (bonus/penalty),
- h. pembayaran (payment),
- i. fluktuasi mata uang dan nilai tukar (currency and exchange fluctuations),
- j. pengambilan contoh dan analisa (sampling and analysis),
- k. penentuan berat (weight determination),
- l. harta milik dan resiko (property and risk),
- m. peraturan dan pembatasan/larangan dari pemerintah (governmental restrictions and regulations),
- n. tak terduga (force majeure),
- o. peleraian (arbitration),
- p. kesukaran/penderitaan (hardship) karena ada kecurangan terhadap salah satu pihak, berdasarkan F.O.B.T (shipping and loading port conditions); dan atau persyaratan pelabuhan untuk pembongkaran (discharge port conditions) untuk penjualan menurut C&F,

Dari daftar urutan ketentuan diatas, karakteristik kualitas atau spesifikasi batubara, merupakan urutan pertama yang harus dipenuhi terlebih dahulu dimana karakterisasi kualitas batubara dilakukan dengan analisa dan pengujian batubara. Karena pasokan batubara sebagai sumber energi panas memainkan peranan yang sangat penting sekarang ini, terutama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan bahan bakar Batubara (PLTU-B), maka spesifikasi batubara biasanya ditentukan dengan analisa kimia dan pengujian yang meliputi parameter-parameter antara lain sebagai berikut :

1. Total Moisture (TM), % a.r
2. Analisa Proksimat yang terdiri dari komponen-komponen : Air-lembab bawaan (Inherent Moisture = IM), Abu (Ash = A), Zat-terbang (Volatile Matter = VM), dan Karbon-tertambat (Fixed Carbon = FC).
3. Analisa Ultimat yang terdiri dari unsur-unsur utama : C, H, O, N, S.
4. Belerang Total (Total Sulphur).
5. Nilai Kalori (Calorific Value = CV).
6. Kadar dan Analisa Komposisi Kimia Abu
7. Suhu Leleh Abu
8. Indek Ketergerusan Hardgrove (Hardgrove Grindability Hardgrove = HGI).
9. Pengayakan (screening).

## **2.4 Pemanfaatan Kokas dalam Industri Logam.**

Sampai akhir abad ke-18, arang kayu dipakai untuk peleburan logam. Produksi logam dengan bahan bakar arang kayu cukup bagus, namun biayanya sangat mahal. Diperlukan sekitar 100 kg kayu untuk melebur 1 kg baja. Batubara biasa juga pernah dicoba, namun hasilnya tidak bagus karena batubara biasa banyak mengandung unsur lain seperti belerang. Ketika logam dilebur, belerang bisa menyebabkan kerusakan pada logam. Oleh karena itu, diperlukan tahapan untuk mengkonversi batubara biasa ke dalam bentuk kokas. Dengan teknik distilasi kering, unsur-unsur lain di dalam batubara bisa dibuang sehingga hasil akhirnya adalah batubara dengan kandungan karbon dan nilai kalori yang sangat tinggi. Batubara yang telah dikonversi ini dinamakan "Kokas". Untuk bahan bakar peleburan logam, kokas sangat layak dipakai.

### **a. Pemilihan Bahan Baku**

Sebelum proses karbonisasi, campuran beberapa jenis batubara bitumen yang sebagian besar diperoleh dari tambang batubara Ombilin, dipersiapkan terlebih dahulu. Batubara jenis bitumen ini harus memenuhi beberapa kriteria berdasarkan analisis proksimat. Parameter yang diuji antara lain: kandungan air, abu, belerang, zat terbang, tar, dan tingkat plastisitas batubara.

### **b. Proses Karbonisasi Batubara**

Karbonisasi batubara adalah proses distilasi kering di mana sirkulasi udara dikontrol seminimal mungkin. Melalui dinding baja, panas disalurkan ke dalam tanur bakar yang memuat batubara. Pada suhu sekitar 375 sampai 475 derajat Celcius, batubara mengalami dekomposisi membentuk lapisan plastis di sekitar dinding.

Ketika suhu mencapai 475 sampai 600 derajat Celcius, terlihat kemunculan cairan tar dan senyawa hidrokarbon (minyak), dilanjutkan dengan pemadatan massa plastis menjadi semi-kokas. Pada suhu 600 sampai 1100 derajat Celcius, proses stabilisasi kokas dimulai. Ketika lapisan plastis sudah bertemu di tengah oven, berarti seluruh batubara telah terkarbonasi menjadi kokas, dilanjutkan dengan proses pendinginan (*quenching*).

#### c. Proses Daur Ulang Panas dalam Pembuatan Kokas

Ada dua macam tipe pembuatan kokas: Pengolahan Produk Sampingan dan Daur Ulang Panas. Dalam teknik Pengolahan Produk Sampingan, semua zat lain yang dihasilkan dari oven kokas "ditangkap" untuk diproses lebih lanjut. Beberapa produk samping yang dihasilkan memang mengandung nilai jual. Namun beberapa di antaranya sangat berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, kami memilih teknik Daur Ulang Panas, di mana semua zat dan gas hasil karbonisasi dialirkan kembali ke dalam oven kokas untuk menambah energi panas ke dalam oven. Dengan demikian, semua zat berbahaya tersebut tidak lepas ke udara karena habis terbakar dalam panas yang sangat tinggi. proses daur ulang panas ini membantu menjaga lingkungan dari gas berbahaya yang pada gilirannya mengurangi polusi udara.

#### d. Metode Pendinginan Kering

Setelah kokas selesai dibuat di oven, perlu pendinginan secepatnya supaya kokas tersebut tidak berubah jadi abu. Ada dua metode pendinginan kokas: Basah dan Kering. Dalam proses pendinginan basah, air disemprotkan ke kokas yang panas membara, akibatnya timbul gas yang menguap ke udara. Gas ini juga berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu kami memilih metode pendinginan kering.

Caranya sederhana, dengan hanya membuka dinding insulasi oven kokas dan membiarkan aliran udara di atmosfer mendinginkan kokas secara alamiah selama 8 jam. Kunci keberhasilan pendinginan alamiah ini karena kami menggunakan banyak oven-oven berkapasitas kecil. Kami percaya bahwa 10x1 lebih baik daripada 1x10. Prinsip ini juga sejalan dengan konsep logistik seperti Just-In-Time, Kanban, Theory of Constraints, dll.

#### e. Briket Kokas

Tidak semua material dari oven kokas menghasilkan kokas dalam kondisi yang siap pakai. Beberapa di antaranya berwujud kokas lembut dan berukuran kecil sehingga tidak bisa dipakai langsung untuk pengecoran logam. Untuk itu diperlukan proses pembriketan di pabrik briket. Sebelum dibriketkan, semua kokas lunak dan kecil tersebut dihancurkan sehingga berbentuk serbuk. Sebagai pengikat (binder) digunakan tepung yang mengandung karbohidrat dan batu kapur (kalsium karbonat). Unsur kalsium karbonat ini sangat diperlukan sebagai pengikat unsur tak murni dari logam ketika dilebur. Pembriketan dilakukan dengan teknik ekstrusi bertekanan tinggi, sehingga terbentuklah briket kokas yang kuat, berukuran besar seragam, sesuai dengan permintaan konsumen.

Ditinjau dari segi pemanfaatannya, batubara dapat dibagi menjadi 3 (tiga) golongan, yaitu:

1. Batubara untuk bahan bakar, disebut batubara bahan bakar (*steaming coal*, *fuel coal*, atau *energy coal*)
2. Batubara bitumen untuk pembuatan kokas, disebut batubara kokas (*cooking coal*)

3. Batubara untuk dibuat bahan-bahan dasar energi lainnya, disebut batubara konversi (*conversion coal*)

## **2.5 Batu bara untuk bahan bakar.**

Sebagai bahan bakar, batubara dapat dimanfaatkan untuk mengubah air menjadi uap didalam suatu tungku peleburan, untuk membakar bahan pembuat klinker dipabrik semen, dan sebagai bahan bakar di industri-industri kecil. Pada hakikatnya, semua batubara dapat dibakar, tetapi pemanfaatannya sebagai bahan bakar tertentu perlu dipenuhi berbagai persyaratan tertentu pula. Misalnya, sebagai bahan bakar tungku peleburan besi diperlukan batubara yang mempunyai kandungan ash <30%. Ketel yang memanfaatkan batubara halus dapat didesain agar bisa membakar batubara dengan kandungan ash lebih tinggi lagi, katakanlah 50%. Akan tetapi, dengan kandungan ash yang demikian besar dapat menimbulkan banyak masalah dalam pengoperasiannya. Bahkan pada pembakaran batubara yang mengandung ash <30% pun masih banyak menimbulkan masalah pada ketel karena dapat menyebabkan erosi dan kerak pada tabung uap. Umumnya, pembuatan sebuah ketel suatu tungku peleburan besi dirancang untuk membakar batubara dengan spesifikasi yang telah ditentukan, sesuai dengan sifat batubara yang akan menjadi “makanannya”. Spesifikasi ini kadang-kadang mempunyai nilai rentang yang agak panjang sehingga dapat menampung batubara lebih dari satu sumber. Itulah sebabnya mengapa sewaktu masih dalam tahapan eksplorasi dan studi kelayakan tambang, berbagai parameter penting sebagai penentu tersebut dalam sampel inti bor sudah mulai ditentukan.

Demikian pula dengan pabrik semen dewasa ini. Semuanya harus menggunakan bahan bakar batubara, dan yang telah dibangun sebelum Peraturan Presiden ditetapkan,

harus mengganti bahan bakar minyaknya dengan batubara. Untuk keperluan tersebut harus dibangun kiln untuk membakar batubara yang didesain dengan spesifikasi tertentu.

Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar telah mulai dirintis dalam industri kecil, seperti pabrik kertas, pabrik gula, pabrik bata, pabrik genteng, dan pabrik kapur. Hal ini terutama untuk memanfaatkan batubara dengan cadangan kecil.

Pada saat ini, Indonesia telah mencoba memanfaatkan batubara untuk menggantikan minyak tanah sebagai bahan bakar tidak berasap (smokeless fuel) di rumah tangga. Untuk keperluan tersebut, batubara dikarbonisasikan pada suhu rendah, digerus dan diberi bahan perekat, kemudian dicetak dan dibentuk menjadi briket batubara. Di Victoria-Australia, bahan untuk briket batubara berasal dari batubara peringkat (rank) rendah yang mengandung moisture tinggi, misalnya lignit yang mengandung moisture >60%.

## **2.6 Batu bara untuk kokas.**

Kokas ialah residu padat yang tertinggal bila batubara dipanaskan tanpa udara sampai sebagian zat yang mudah menguapnya hilang. Batubara kokas adalah batubara yang bila dipanaskan tanpa udara sampai suhu tinggi akan menjadi lunak, terdevolatilasi, mengembang, dan memadat kembali membentuk material yang porous. Material ini merupakan padatan kaya karbon yang disebut kokas.

Kebanyakan kokas digunakan dalam pembuatan besi dan baja karena memberikan energi panas dan sekaligus bertindak sebagai zat pereduksi (reduktor) terhadap bijih besi yang dikerjakan didalam tanur suhu tinggi atau tungku pembakaran

(*blast furnace*). Kokas untuk keperluan tersebut, umumnya padat dan relatif kuat, dihasilkan dari batubara tertentu., baik tunggal maupun campuran, dalam oven kokas (*coke oven*). Residu hasil karbonisasi yang merupakan material serbuk yang tidak berlubang atau massanya menggumpal disebut char.

Bahan ini dapat dibuat briket dan digunakan sama seperti kokas (kokas jenis ini disebut sebagai *formed coke*) atau langsung dipakai sebagai elektroda karbon. Umumnya, ada dua istilah yang dapat membingungkan kita, yaitu istilah “caking” dan “coking”. Caking ialah kemampuan batubara untuk meleleh ketika dipanaskan dan kembali membentuk residu yang koheren ketika didinginkan. Syarat mutlak untuk batubara kokas ialah batubara itu harus meleleh membentuk *cake* jika dipanaskan. Tidak semua caking coal adalah cooking coal. Coking digunakan untuk menerangkan bahwa batubara tersebut cocok untuk dibuat kokas. Walaupun begitu, keterangan ini berlawanan dengan definisi klasifikasi batubara *hard coal* menurut ISO yang mendefinisikan caking kebalikan dari coking. Caking menunjukkan penggumpalan (*agglomeration*) dan pengembangan (*swelling*). Selama dipanaskan (*index crucible swelling number* dan *Roga*), sedangkan coking menunjukkan penggumpalan dan pengembangan selama pemanasan lambat (*dilatation* atau *Gray-King coke type*). Hal ini menimbulkan kerancuan dalam pemakaian kedua istilah tersebut.

Batu bara yang dapat dibuat kokas harus mempunyai peringkat dan tipe tertentu. Sebagian zat organik dalam batubara mempunyai peranan dalam sifat-sifat pelelehan tadi. Dalam batubara kokas yang prima, yaitu yang membentuk kokas metalurgi yang sangat baik, harus dicapai suatu perbandingan yang optimal antara zat yang *reaktif* dan zat yang *inert* (tidak meleleh).

Berbagai parameter yang menentukan batubara kokas (peringkat dan jenisnya telah memenuhi syarat), termasuk kokas metalurgi, ialah kandungan *ash* tidak terlalu tinggi, hampir tidak mengandung sulfur dan fosfor, serta zat yang mudah menguapnya dalam kokas harus kecil. Untuk menentukan sifat-sifat batubara kokas digunakan *crucible swelling number*, *Gray King coke type*, *plastisitas* dan *fluiditas*.

## 2.7 Batu bara konversi

Batubara konversi ialah batubara yang dimanfaatkan tidak sebagai bahan bakar padat, tetapi energi yang dikandungnya, disimpan dalam bentuk lain, yakni gas dan cairan. Perubahan batubara dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu melalui pembuatan gas atau gasifikasi (*gasification*) dan pencairan batubara atau likuifaksi (*coal liquefaction*).

Dalam proses gasifikasi, semua zat organik dalam batubara diubah kedalam bentuk gas, terutama karbon monoksida, karbon dioksida, dan hidrogen. Gas-gas ini kemudian dapat pula diubah menjadi bahan-bahan kimia, seperti pupuk dan metanol. Proses likuifaksi bertujuan mengubah batubara menjadi minyak. Penelitian yang dilakukan SASOL di Afrika Selatan yang telah berhasil mengubah batubara menjadi minyak (*gasolin*, *diesel*, *jet fuel*), gas maupun bahan kimia lain melalui pembuatan gas. Cara langsung ialah dengan menghidrogenasikan batubara (rasio atom hidrogen/karbon = 0,7) sehingga menjadi minyak (rasio atom hidrogen/karbon >1.2)

## **2.8 Kokas sebagai energi alternatif**

Indonesia memiliki cadangan batubara yang besar melebihi cadangan minyak bumi. Kegiatan penambangan batubara di Indonesia juga semakin meningkat dari tahun ke tahun dimana batubara diharapkan sebagai sumber alternatif, selain untuk ekspor juga untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi dalam negeri. Oleh karena itu perlu digalakkan program pemasyarakatan dan pembudayaan batubara. Salah satu caranya adalah dengan penanganan lebih lanjut proses pengembangan pembuatan kokas, karena merupakan komoditi penting yang banyak dibutuhkan pada industri berskala kecil sampai skala besar. Industri yang membutuhkan kokas antara lain industri pengecoran logam, industri gula, industri elektrode dan industri logam lainnya. Pemenuhan kebutuhan kokas di Indonesia sebagian besar berasal dari luar negeri (impor) Jepang, RRC, dan Taiwan.

Mengingat kokas merupakan komoditi yang cukup penting, terutama pada industri logam dan baja, maka usaha pengembangan dan pemenuhan kebutuhan kokas dari dalam negeri menjadi sangat perlu. Kokas selain digunakan untuk meningkatkan kandungan karbon dalam besi, juga berfungsi sebagai bahan bakar, bahan pereduksi maupun penyangga beban. Jadi jelas bahwa batubara bisa diharapkan sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada impor, yang tentunya dapat menghemat devisa.

Sumber daya batubara (Coal Resources) di Indonesia cukup besar dengan total cadangan kurang lebih 39 milyar ton. Bila diasumsikan laju pertumbuhan produksi batubara mencapai 12,4 % per tahun, maka batubara Indonesia dapat dimanfaatkan hingga tahun 2166.

Lokasi cadangan umumnya berada di Sumatera (64%) dan Kalimantan (35%). Sementara itu daerah-daerah lain seperti pulau Jawa dan Sulawesi walaupun cadangannya sedikit tetapi telah dimanfaatkan, karena di kedua daerah tersebut lokasi konsumen tidak jauh. Sehingga batu bara tetap ekonomis untuk dimanfaatkan. Di pulau Jawa, banyak pemakai batubara untuk berbagai keperluan, sedangkan di Sulawesi terdapat pabrik semen dengan kapasitas yang cukup besar [Koestoer, 1997]. Cadangan batu bara Indonesia saat ini berjumlah sekitar 7 miliar ton yang terdiri dari batu bara berkualitas rendah, yaitu lignite (49%), dan sub-bituminous (26%), serta batu bara berkualitas tinggi yaitu bituminous (24%) dan antrachite (1%). Cadangan batubara (Coal Reserves) adalah bagian dari sumber daya batubara yang telah diketahui dimensi, sebaran kuantitas, dan kualitasnya, yang pada saat pengkajian kelayakan dinyatakan layak untuk ditambang Batubara berkualitas rendah ditandai dengan kandungan air yang tinggi dan karbon yang rendah. Sementara itu, batu bara berkualitas tinggi memiliki kandungan air yang rendah dan karbon yang tinggi, dan umumnya dijual ke pasar ekspor internasional [Iskandar,2006].

Pada prinsipnya batu bara dari semua peringkat dapat diubah dengan teknologi batu bara bersih menjadi bahan bakar cair, gas atau padat yang lebih ramah lingkungan. Teknologi batu bara dapat dikelompokkan dalam konversi batu bara menjadi kokas/semi-kokas briket batu bara melalui proses karbonisasi batu bara, likuifaksi batu bara dan gasifikasi batu bara yang menghasilkan minyak dan gas sintetis [Budi,2003].

Coking coal adalah batubara yang indikasi awalnya mempunyai sifat caking tertentu, Sifat caking adalah sifat ketika dipanaskan pada suhu tertentu, batu bara tersebut akan meleleh, mengembang dan memadat kembali membentuk bongkahan. Batu bara yang mempunyai sifat caking adalah jenis batu bara bituminous [Annual Book of ASTM Standard,1981]. Pemanfaatan kokas pada industri antara lain, pengecoran logam (sebagai bahan bakar dan reduktor), industri gula (bahan bakar), dan industri elektroda (sebagai bahan baku elektroda karbon).

Pada industri pembuatan besi baja dalam tanur tinggi kokas merupakan bahan bakar terpenting yang diperlukan. Kokas tersebut digunakan sebagai sebagai bahan reduktor. Pada saat ini kebutuhan kokas semakin meningkat sebagai bahan bahan bakar di berbagai industri. Saat ini sebanyak 92% bahan bakar kokas masih di impor dari RRC, Taiwan dan Jepang [Kusmayanto,2007].

Mengingat kokas merupakan komoditi yang memegang peranan penting dalam pengembangan industri metalurgi di tanah air, maka untuk pemenuhan kebutuhan kokas tersebut diperlukan usaha penelitian dan pengembangan pembuatan kokas dari batu bara Bayah Banten selatan, guna memanfaatkan sumber daya lokal, serta mengurangi ketergantungan impor kokas yang tentunya juga menghemat devisa negara.

## **2.9 Karbonisasi.**

Proses karbonisasi dapat merupakan reaksi endoterm atau eksoterm tergantung pada temperatur dan proses reaksi yang sedang terjadi. Secara umum hal ini dipengaruhi oleh hubungan temperatur karbonisasi, sifat reaksi, perubahan fisik/kimiawi yang terjadi.

Proses karbonisasi dilakukan melalui dua cara, pertama dengan pemanasan secara langsung dalam tungku *Beehive* yang berbentuk kubah. Tungku *Beehive* merupakan tungku yang paling tua dimana batubara dibakar pada kondisi udara terbatas, sehingga hanya zat terbang saja yang akan terbakar. Jika zat terbang terbakar habis, proses pemanasan dihentikan. Kelemahannya antara lain terdapat produk samping berupa gas dan cairan yang tidak dapat dimanfaatkan atau habis terbakar, disamping itu produktivitas sangat rendah.

Cara kedua adalah karbonisasi batubara dengan pemanasan tak langsung atau sistem destilasi kering. Dalam hal ini batubara ditempatkan pada ruang tegak sempit dan dipanaskan dari luar (pemanasan tak langsung). Cara ini selain menghasilkan kokas juga diperoleh produk samping berupa tar, amoniak, gas methana, gas hidrogen dan gas lainnya.

Gas-gas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. sedangkan produk cair berupa tar, amoniak dan lain-lain dapat diproses lebih lanjut untuk menghasilkan bahan-bahan kimia, umumnya berupa senyawa aromatik.

## **2.10 Defenisi Besi**

Besi merupakan salah satu unsur pokok alamiah dalam kerak bumi. Keberadaan besi dalam air tanah biasanya berhubungan dengan pelarutan batuan dan mineral terutama oksida, sulfida karbonat, dan silikat yang mengandung logam-logam tersebut (Poerwadio dan Masduqi, 2004). Besi (Fe) adalah logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk.

Fe di dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII, dengan berat atom 55,85 g.mol<sup>-1</sup>, nomor atom 26, berat jenis 7,86 g.cm<sup>-3</sup> dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi, campuran lain harus dipisahkan melalui penguraian kimia. Besi digunakan dalam proses produksi besi baja, yang bukan hanya unsur besi saja tetapi dalam bentuk alloy (campuran beberapa logam dan bukan logam, terutama karbon) (Arifin, 2010).

Kandungan Fe di bumi sekitar 6,22 %, di tanah sekitar 0,5 – 4,3%, di sungai sekitar 0,7 mg/l, di air tanah sekitar 0,1 – 10 mg/l, air laut sekitar 1 – 3 ppb, pada air minum tidak lebih dari 200 ppb. Pada air permukaan biasanya kandungan zat besi relatif rendah yakni jarang melebihi 1 mg/L sedangkan konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/l sampai dengan + 25 mg/l. Di alam biasanya banyak terdapat di dalam bijih besi hematite, magnetite, taconite, limonite, goethite, siderite dan pyrite (FeS), sedangkan di dalam air umumnya dalam bentuk terlarut sebagai senyawa garam ferri (Fe<sup>3+</sup>) atau garam ferro (Fe<sub>2+</sub>); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter < 1 mm) atau lebih besar seperti, Fe(OH)<sub>3</sub>, dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi). Senyawa ferro dalam air yang sering dijumpai adalah FeO, FeSO<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub>.7 H<sub>2</sub>O, FeCO<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, FeCl<sub>2</sub> sedangkan senyawa ferri yang sering dijumpai yaitu FePO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub> (Arifin, 2010).

Pada air yang tidak mengandung oksigen O<sub>2</sub>, seperti air tanah, besi berada sebagai Fe<sup>2+</sup> yang cukup dapat terlarut, sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe<sup>2+</sup> teroksidasi menjadi Fe<sup>3+</sup> yang sulit larut pada pH 6 sampai 8

(kelarutan hanya di bawah beberapa mg/l), bahkan dapat menjadi ferihidroksida  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap (Arifin, 2010).

Konsentrasi besi dalam air minum dibatasi maksimum 0,3 mg/l (sesuai Kepmenkes RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002), hal ini berdasarkan alasan masalah warna, rasa serta timbulnya kerak yang menempel pada sistem perpipaan. Manusia dan makhluk hidup lainnya dalam kadar tertentu memerlukan zat besi sebagai nutrient tetapi untuk kadar yang berlebihan perlu dihindari. Garam ferro misalnya ( $\text{FeSO}_4$ ) dengan konsentrasi 0,1 – 0,2 mg/L dapat menimbulkan rasa yang tidak enak pada air minum (Arifin, 2010).

Unsur besi mempunyai sifat-sifat yang sangat mirip dengan mangan sehingga pengaruhnya juga hampir sama meskipun beberapa hal berbeda terutama nilai ambang batas menurut Arifin (2010). Di dalam air minum besi (Fe) dapat berpengaruh seperti tersebut dibawah ini :

1. Menimbulkan penyumbatan pada pipa disebabkan:

- a. Secara langsung oleh deposit (tubercule) yang disebabkan oleh endapan besi sedangkan secara tidak langsung, disebabkan oleh kumpulan bakteri besi yang hidup di dalam pipa, karena air yang mengandung besi, disukai oleh bakteri besi.
- b. Selain itu kumpulan bakteri ini dapat meninggikan gaya gesek (losses) yang juga berakibat meningkatnya kebutuhan energi. Selain itu pula apabila bakteri tersebut mengalami degradasi dapat menyebabkan bau dan rasa tidak enak pada air.

2. Besi sendiri dalam konsentrasi yang lebih besar dan beberapa mg/l, akan memberikan suatu rasa pada air yang menggambarkan rasa logam, atau rasa obat.

3. Keberadaan besi juga dapat memberikan kenampakan keruh dan berwarna pada air dan meninggalkan noda pada pakaian yang dicuci dengan menggunakan air ini, oleh karena itu sangat tidak diharapkan pada industri kertas, pencelupan/textil dan pabrik minuman.
4. Meninggalkan noda pada bak-bak kamar mandi dan peralatan lainnya (noda kecoklatan disebabkan oleh besi dan kehitaman oleh mangan).
5. Endapan logam ini juga yang dapat memberikan masalah pada sistem penyediaan air secara individu (sumur).
6. Menyebabkan keluhan pada konsumen (seperti kasus “red water”) bila endapan besi yang terakumulasi di dalam pipa, tersuspensi kembali disebabkan oleh adanya kenaikan debit atau kenaikan tekanan di dalam pipa/sistem distribusi, sehingga akan terbawa ke konsumen.
7.  $Fe^{2+}$  juga menimbulkan corrosive yang disebabkan oleh bakteri golongan Crenothrix dan Clonothrix

Besi adalah unsur yang paling mudah ditemukan di Bumi. 35% penyusun Bumi adalah besi dan sebagian besarnya bisa ditemukan di inti bumi. Besi yang ada dikerak bumi tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni. Besi berikatan dengan senyawa lain dan membentuk bijih besi.

Bila kita ingin mengekstraksi besi dari bijih besi harus dipanaskan dalam tungku sembur. Lambang kimia besi adalah Fe yang berasal dari kata Ferum, bahasa latin untuk besi. Senyawa besi disebut fero atau feri. Besi memiliki nomor atom 26 dan berat atom 55,85. Besi meleleh pada suhu 535 Derajat Celcius dan mendidih pada suhu 3000 Derajat Celcius. Besi menghantarkan listrik dan panas dengan cukup baik, tetapi

kelarutannya dalam air sangat rendah. besi sangat mudah dijadikan elektromagnet. Besi bisa dengan mudah kehilangan sifat keelektromagnetisannya, sementara baja tidak.<sup>9=></sup> Sinar Laser mampu memotong besi karbon dengan sangat mudah walaupun besi karbon adalah besi yang sangat kuat.

### **2.11 Blast furnace (tanur tinggi)**

*Blast furnace* digunakan untuk pembuatan besi yang mayoritasnya dibuat menjadi baja. Input untuk *blast furnace* adalah bijih besi oksida, fluks (batu kapur atau kapur) untuk membantu aliran logam yang melebur melalui lapisan kokas dan menghilangkan keasaman, serta kokas untuk memberikan panas dan struktur matriks terbuka yang akan menopang bijih besi dan fluksnya dan memungkinkan cairan besi mengalir ke dasar tanur.

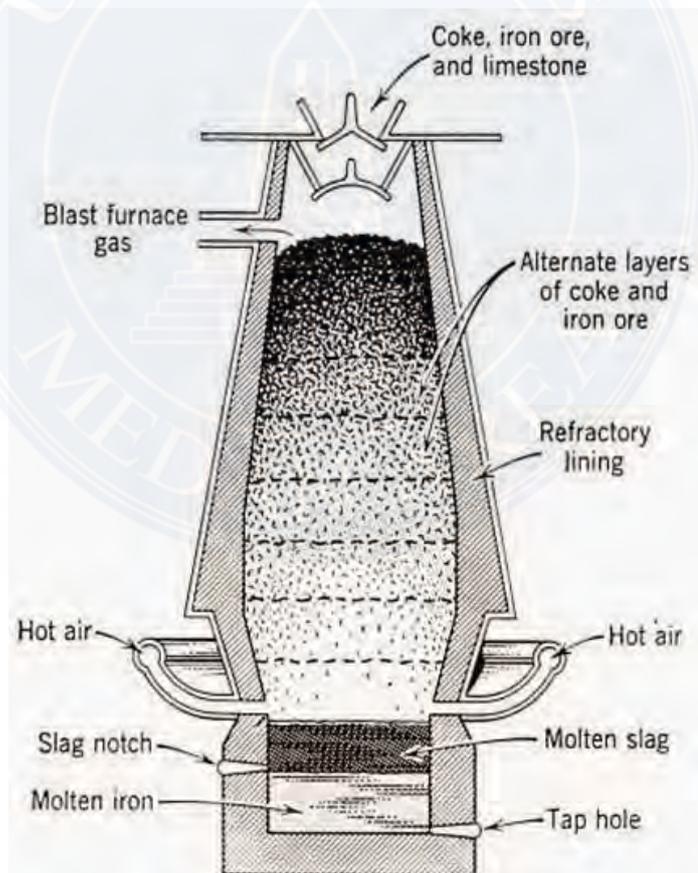
Reaksi kimia yang penting dari proses ini adalah reduksi bijih besi (besi oksida) dengan karbon yang diperoleh dari kokas:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$

Tidak semua karbon monoksida (CO) dikonversi ke karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam proses dan sisanya keluar dari *blast furnace* ke dalam gas *blast-furnace*. Adanya karbon monoksida dalam gas *blast-furnace* memberikan nilai panasnya. Suhu dari udara semburan yang memasuki *blast furnace* dapat setinggi 900°C dan menyediakan sebagian besar dari kebutuhan panasnya.

Pembakaran tidak penuh (*partial combustion*) dari bahan bakar dalam tanur maupun, di mana terjadi, bahan bakar yang diinjeksi ke dalam semburan udara menyediakan sisa panas yang dibutuhkannya. Gas *blast-furnace* ini bersih dan mungkin diperkaya dengan gas *coke-oven* sebelum digunakan untuk memanaskan udara

semburan dan untuk tujuan lain pada lokasi pembuatan. Pemanas udara semburan (*cowpers*) terpisah dari *blas furnace*.

Bahan lainnya tidak diinjeksi ke dalam udara semburan pada setiap fasilitas *blast furnace*. Tujuan daripada injeksi adalah untuk menambah karbon pada proses sehingga mengurangi kebutuhan kokas. Kebanyakan, tetapi tidak semua, dari bahan-bahan yang dimasukkan dikenal sebagai bahan bakar. Bahan-bahan tersebut sebagian teroksidasi pada saat kontak dengan semburan udara panas, dan karbon monoksida yang dihasilkannya, bersama dengan yang berasal dari kokas, dialirkan ke pengisian untuk mengurangi oksida besi.



Gambar 2.2 Tanur Tinggi

## 2.12 Nilai Kalor Batu Bara

Nilai kalor adalah ukuran dari energi panas dalam batubara yang digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan harga batubara. Nilai kalor adalah banyaknya panas yang dapat dilepaskan oleh setiap kilogram **batubara** jika dibakar sempurna. Dalam sistem S.I, nilai kalor dinyatakan dalam satuan KJ/Kg. Terdapat empat macam nilai kalor yang berbeda yaitu :

1. Nilai kalor kotor pada volume konstan ( $G_{cv} \ V$ ).
2. Nilai kalor bersih pada volume konstan ( $N_{cv} \ V$ ).
3. Nilai kalor kotor pada tekanan konstan ( $G_{cv} \ P$ )
4. Nilai kalor bersih pada tekanan konstan ( $N_{cv} \ P$ )

***Bomb calorimeter*** adalah salah satu alat yang dipakai untuk mengukur nilai kalor kotor pada volume konstan, sedangkan nilai kalor yang lain selanjutnya akan dapat dihitung jika komposisi bahan bakar telah diketahui.

Metode penentuan nilai kalor batubara menggunakan *bomb calorimeter* dilakukan dengan membakar sejumlah kecil sampel batubara dalam oksigen didalam sebuah cawan yang ditempatkan dalam bejana kalorimeter. Selanjutnya bejana beserta isinya ditempatkan didalam bejana berongga yang lebih besar dimana di dalam rongga dinding bejana diisi dengan air untuk membentuk *jacket*, hal ini bertujuan untuk memperkecil transfer panas antara bejana kalorimeter dengan lingkungan. Kemudian sampel batu bara tersebut dibakar dengan bantuan pemantik listrik, dan panas yang dilepaskan dari proses pembakaran sampel tersebut kemudian diukur dengan cara

mengukur temperatur air dalam kalorimeter sebelum dan naiknya suhu dikalikan dengan panas jenis air.

Kata *gross* (kotor) pada penilaian kalor batubara mengandung pengertian bahwa panas laten penguapan dari air yang terdapat dalam batu bara ditambah panas laten dari air yang terbentuk selama pembakaran boiler. Kata *net* (bersih) menandakan bahwa panas laten untuk membentuk uap air tidak diperhitungkan dalam harga nilai kalor karena panas laten ini terbuang dalam bentuk uap air.

Secara aktual panas laten dari uap air ini tidak bisa diperoleh kembali dalam kondisi operasi boiler, sehingga pabrik-pabrik pembuat boiler harus menyatakan harga efisiensi boiler berdasarkan nilai kalor bersih (*net calorific value*), dan efisiensi ini sekitar 4% lebih tinggi harga efisiensi yang dihitung berdasarkan nilai kalor kotor (*gross calorific value*). Hal ini harus diperhitungkan bila akan membandingkan harga efisiensi boiler yang satu dengan boiler yang lain.

Proses pembakaran batu bara dalam sebuah *bomb calorimeter* berbeda dengan proses pembakaran batu bara dalam boiler. Proses pembakaran dalam *bomb calorimeter* berlangsung pada volume konstan sedang proses pembakaran pada boiler berlangsung pada tekanan konstan. Bila proses pembakaran berlangsung pada tekanan konstan, maka gas hasil pembakaran harus bebas memuai sehingga melakukan kerja (*work*), dengan demikian nilai kalor kotor pada tekanan konstan akan lebih tinggi dari pada nilai kalor yang diperoleh dari *bomb calorimeter* bila panas ekivalen dengan kerja (*work*) diperhitungkan. Selain itu ada beberapa rumus yang dipakai untuk menghitung nilai kalor bahan bakar, tetapi untuk hal ini perlu dilakukan analisa dengan metode ultimate.

Baik buruknya suatu kualitas batubara ditentukan oleh penggunaan batubara itu sendiri. Batubara yang berkualitas baik untuk penggunaan tertentu, belum tentu baik pula untuk penggunaan yang lainnya, begitu juga sebaliknya. Kualitas suatu batubara dapat ditentukan dengan cara analisa parameter tertentu baik secara fisik maupun secara kimia. Parameter yang ditentukan dari suatu analisa batubara tergantung tujuan untuk apa batubara tersebut digunakan.

Parameter Kualitas Batubara Total Moisture Proximate, Total Sulfur Calorific Value HGI Ultimate, Analysis Ash Fusion Temperature Ash, Analysis TOTAL MOISTURE. Tinggi Rendahnya Total Moisture akan tergantung pada : Peringkat Batubara Size Distribusi Kondisi Pada saat Sampling Peringkat Batubara Semakin tinggi peringkat suatu batubara semakin kecil porositas batubara tersebut atau semakin padat batubara tersebut. Dengan demikian akan semakin kecil juga moisture yang dapat diserap atau ditampung dalam pori batubara tersebut. Hal ini menyebabkan semakin kecil kandungan moisturenya khususnya inherent moisturenya. Size Distribusi Semakin kecil ukuran partikel batubara, maka semakin besar luas permukaannya. Hal ini menyebabkan akan semakin tinggi surface moisturenya. Pada nilai inherent moisture tetap, maka TM-nya akan naik yang dikarenakan naiknya surface moisture. Kondisi Sampling Total Moisture dapat dipengaruhi oleh kondisi pada saat batubara tersebut di Sampling. Yang termasuk dalam kondisi sampling adalah : Kondisi batubara pada saat disampling Size distribusi sample batubara yang diambil terlalu besar atau terlalu kecil. Cuaca pada saat pengambilan sample. Penentuan Total Moisture Penentuan Total Moisture biasanya dibagi menjadi dua tahap penentuan yaitu : Penentuan Free Moisture atau air dry loss Penentuan Residual moisture TOTAL MOISTURE Dalam

komersial, Total Moisture sering dijadikan parameter penentu berat cargo akhir, atau bahkan sebagai batasan Reject. Total Moisture juga digunakan sebagai faktor dalam penentuan basis As Received, baik untuk nilai kalori maupun untuk parameter lainnya.

## **2.13 Metode Analisa Kualitas Batu Bara**

### **a. Analisa Proksimat**

Metode dasar untuk analisa proksimat diberikan oleh Standar ASTM D 3172 yang dapat diuraikan secara ringkas sebagai berikut :

Mengingat akan fakta bahwa batubara adalah suatu campuran heterogen dari senyawa-senyawa organik berupa senyawa organik ringan (zat-terbang = Volatile Matter = VM) (yang terdiri dari gas-gas dan uap yang dikeluarkan apabila batubara dipanaskan tanpa kontak dengan oksigen dari udara sampai suhu tertentu ( $900 + 25^{\circ}\text{C}$ ) selama 7 menit dan bahan organik tidak terbang (non-volatile) (karbon-tertambat = fixed carbon = FC) (residu karbon padatan yang terbakar pada suhu yang lebih tinggi setelah VM dikeluarkan) bersama dengan sejumlah tertentu bahan anorganik sebagai pengotor (impurities/diluents) berupa air yang disebut air-lembab (moisture = M) yang ditentukan pada suhu  $105 + 5^{\circ}\text{C}$  dan mineral yang disebut abu (ash = A) (berupa bahan tidak reaktif lagi (inert material) yang dihasilkan apabila batubara dibakar sempurna) pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ . Karena itu, ke-empat komponen pembentuk batubara ini ( $\% \text{IM} + \% \text{A} + \% \text{VM} + \% \text{FC} = 100\%$ ) dapat ditentukan dengan analisa proksimat dimana VM dan FC adalah komponen/bahan aktif yang menghasilkan energi panas apabila batubara dibakar, sedangkan M dan A adalah komponen yang tidak reaktif yang merintang proses emisi energi panas apabila batubara dibakar.

Analisa Proksimat Batubara digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas batubara dalam kaitannya dengan penggunaan batubara tersebut, yaitu untuk mengetahui jumlah relatif air lembab (*moisture content*), zat terbang (*VM*), abu (*ash*), dan karbon tertambat (*FC*) yang terkandung didalam batubara. Analisa proksimat ini merupakan pengujian yang paling mendasar dalam penentuan kualitas batubara.

b. Total Moisture (TM).

Dalam batubara, *moisture content* paling sedikitnya terdiri atas satu senyawa kimia tunggal. Wujudnya dapat berbentuk air yang dapat mengalir dengan cepat dari dalam sampel batubara, senyawa teradsorpsi, atau sebagai senyawa yang terikat secara kimia. Sebagian *moisture* merupakan komponen zat mineral yang tidak terikat pada batubara.

Dalam ilmu perbatuan, dikenal istilah *moisture* dan air. *Moisture* didefinisikan sebagai air yang dapat dihilangkan bila batubara dipanaskan sampai suhu 105°C. Sementara itu, air dalam batubara ialah air yang terikat secara kimia pada lempung.

Semua batubara mempunyai pori-pori berupa pipa-pipa kapiler, dalam keadaan alami pori-pori ini dipenuhi oleh air. Didalam standar ASTM, air ini disebut *moisture* bawaan (*inherent moisture*). Ketika batubara ditambang dan diproses, air dapat teradsorpsi pada permukaan kepingan batubara, menurut standar ASTM air ini disebut *moisture* permukaan (*surface moisture*). Air yang terbentuk dari penguraian fraksi organik batubara atau zat mineral secara termis bukan merupakan bagian dari *moisture* dalam batubara.

*Moisture* yang datang dari luar saat batubara itu ditambang dan diangkut atau terkena hujan selama penyimpanan disebut *free moisture* (standar ISO) atau *air-dry loss* (standar ASTM). *Moisture* jenis ini dapat dihilangkan dari batubara dengan cara dianginkan atau dikering-udarkan. *Moisture in air-dried sample* (ISO) atau *residual moisture* (ASTM) ialah *moisture* yang hanya dapat dihilangkan bila sampel batubara kering-udara yang berukuran lebih kecil dari 3 mm (-3 mm) dipanaskan hingga 105°C. Penjumlahan antara *free moisture* dan *residual moisture* disebut *total moisture*. Data *moisture* dalam batubara kering-udara ini digunakan untuk menghitung besaran lainnya dari basis kering-udara (adb), bebas-ash (daf) dan basis kering, bebas-mineral matter (dmmf).

Kandungan air total merupakan dasar penilaian yang sangat penting. Secara umum, tinggi rendahnya kandungan air berpengaruh pada beberapa aspek teknologi penggunaan batubara terutama dalam penggunaan untuk tenaga uap. Dalam penggerusan, kelebihan kandungan air akan berakibat pada komponen mesin penggerus karena abrasi. Parameter lain yang terpengaruh oleh kandungan air adalah nilai kalor. Semakin besar kadar air yang terkandung oleh batubara maka akan semakin besar pula nilai kalor dalam pembakaran.

Penentuan kandungan air didalam batubara bisa dilakukan melalui proses satu tahap atau proses dua tahap. Proses dilakukan dengan cara pemanasan sampel sampai terjadi kesetimbangan kandungan air didalam batubara dan udara. Penentuan kandungan air dengan cara tersebut dilakukan pada temperatur diatas titik didih air (ASTM 104-110°C).

Kadar TM ditentukan pada kondisi seperti diterima (as received) yang merupakan parameter yang penting dalam membuat faktur (invoicing) pengiriman batubara. Seperti diketahui bahwa air lembab atau lengas (moisture) dianggap sebagai salah satu pengotor (impurity atau diluent) yang sama halnya seperti abu (ash) dalam batubara yaitu merupakan komponen-komponen pembentuk batubara yang tidak dapat terbakar (being incombustible) sehingga dapat menurunkan nilai komersialnya berupa parameter nilai kalori (calorific value = CV). Karena itu, pengaruhnya terhadap kualitas batubara harus dikontrol secara ketat supaya dapat dijual (saleable coal) sebagai akibat dari kadarnya yang telah memenuhi persyaratan atau spesifikasi batubara yang diminta oleh pasar atau konsumen. Kadar Total Moisture (Lengas Total)(=TM) batubara yang merupakan jumlah dari kadar lengas bebas (unbound surface or free moisture = FM) dan kadar lengas bawaan (inherent moisture = IM) selalu dilaporkan dalam kondisi seperti diterima (as received = ar). Dengan kata lain,  $TM = IM + FM$ . Contoh batubara biasanya diambil sejak dari tahap eksplorasi batubara, tahap penambangan dan tahap pengolahan sampai ke tahap penimbunan (stockpiling) sebelum dikirim ke tempat konsumen/pasar.

Dalam hal ini, karena lengas bawaan (IM) yang tidak sensitif terhadap atmosfer dapat dianggap konstan (tetap atau tidak berubah), maka yang dapat berubah-ubah adalah hanya lengas bebas (FM) yang kadarnya tergantung pada:

1. berbagai kondisi pembasahan (wetting) karena adanya penyerapan air (absorption) dan pengeringan air (drying) (desorption) yang disebabkan oleh iklim atau cuaca lokal yang terjadi selama batubara tersebut tersingkap/terbuka (exposed) dengan udara terbuka (atmosfir) selama penambangan (mining), pengolahan (beneficiation),

pengangkutan (transportation), penanganan (handling), atau penimbunan/penyimpanan (stockpiling/storage).

2. distribusi ukuran partikel/fragment batubara dimana batubara halus (fine coal) dapat menyerap dan menahan lebih banyak air dari pada batubara bongkah (lump coal).

c. Kandungan Abu (*Ash content*)

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

*Ash* batubara, disamping ditentukan kandungannya (*ash content*), ditentukan pula susunan (komposisi) kimianya dalam analisa *ash* dan suhu leleh dalam penentuan suhu leleh *ash*.

Abu merupakan komponen *non-combustible organic* yang tersisa pada saat batubara dibakar. Abu mengandung oksida-oksida logam seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{CaO}$ , yang terdapat didalam batubara. Kandungan abu diukur dengan cara membakar dalam tungku pembakaran (*furnace*) pada suhu  $815^\circ\text{C}$ . Residu yang terbentuk merupakan abu dari batubara.

Dalam pembakaran, semakin tinggi kandungan *ash* batubara, semakin rendah panas yang diperoleh dari batubara tersebut. Sebagai tambahan, masalah bertambah pula misalnya untuk penanganan dan pembuangan *ash* hasil pembakaran.

#### d. Kandungan *Fixed carbon*

*Fixed Carbon* (FC) menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. FC ini mewakili sisa penguraian dari komponen organik batubara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi. Kandungan FC digunakan sebagai indeks hasil kokas dari batubara pada waktu dikarbonisasikan, atau sebagai suatu ukuran material padat yang dapat dibakar di dalam peralatan pembakaran batubara setelah fraksi zat mudah menguap dihilangkan. Apabila *ash* atau zat mineral telah dikoreksi, maka kandungan FC dapat dipakai sebagai indeks *rank* batubara dan parameter untuk mengklasifikasikan batubara.

*Fixed Carbon* ditentukan dengan perhitungan : 100% dikurangi persentase moisture, VM, dan ash (dalam basis kering udara (adb)).

Data *Fixed Carbon* digunakan dalam mengklasifikasikan batubara, pembakaran, dan karbonisasi batubara. *Fixed Carbon* kemungkinan membawa pula sedikit presentase nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin pula oksigen sebagai zat terabsorpsi atau bergabung secara kimia.

*Fixed Carbon* merupakan ukuran dan padatan yang dapat terbakar yang masih berada dalam peralatan pembakaran setelah zat-zat mudah menguap yang ada dalam

batubara keluar. Ini adalah salah satu nilai yang digunakan didalam perhitungan efisiensi peralatan pembakaran.

#### e. *Volatile Matter*

Definisi *volatile matter* (VM) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*). Suhunya adalah 900°C, dengan waktu pemanasan tujuh menit tepat.

*Volatile* yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan, serta sebagian kecil uap yang dapat mengembun seperti tar, hasil pemecahan termis seperti karbon dioksida dari karbonat, sulfur dari pirit, dan air dari lempung. *Moisture* berpengaruh pada hasil penentuan VM sehingga sampel yang dikeringkan dengan oven akan memberikan hasil yang berbeda dengan sampel yang dikering-udarkan.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil penentuan VM ini adalah suhu, waktu, kecepatan pemanasan, penyebaran butir, dan ukuran partikel. VM yang ditentukan dapat digunakan untuk menentukan *ranksuatu* batubara, klasifikasi, dan proporsinya dalam *blending*. *Volatile matter* juga penting dalam pemilihan peralatan pembakaran dan kondisi efisiensi pembakaran.

#### f. Analisa Ultimat

Karena batubara dikomposisikan oleh campuran kompleks dari komponen bahan organik yang berasal dari sisa tumbuh-tumbuhan pembentuk batubara yang diwakili oleh kayu (wood) (Gambar 1) dan komponen bahan anorganik yang ditemui sebagai kation-kation dan mineral, maka analisa ultimat (ASTM D 3176) digunakan untuk

menentukan komponen organik berupa senyawa kimia yaitu C, H, O, N, S. Disamping itu, komponen bahan anorganik, yang sebagian besar terdiri dari mineral dan berubah menjadi abu sisa pembakaran batubara yang terdiri dari unsur utama (major elements), seperti Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, Sr dan unsur-unsur anorganik dengan kadar yang sangat rendah yakni sekitar kurang dari 0,02 % yang disebut unsur runutan (trace elements), seperti As, Sb, Hg, Cd, Zn, Se, U, V, Pb, Be dan Tl.

Mineral-mineral utama dalam batubara (major coal minerals) diklasifikasikan sebagai : tanah liat (clays), karbonat (carbonates), sulfida (sulfides), oksida (oxides), klorida (chlorides), dan sulfat (sulfates). Lapisan tanah liat berupa campuran dari kaolinite, illite, montmorillonite, dan illite-montmorillonite adalah mineral-mineral tanah liat yang dominan. Karbonat utama yang ada dalam batubara adalah siderite, ankerite, calcite dan dolomite. Fe dalam mineral sulfida pyrite dan marcasite dan Pb dalam mineral galena (PbS), Zn dalam sfalerite (ZnS) dan As dalam arsenopyrite (FeAsS<sub>2</sub>).

g. Belerang Total (Total Sulphur).

Belerang (sulfur) berada dalam tiga bentuk utama yaitu a) pyritic sulfur (FeS<sub>2</sub>) yang berasosiasi dengan mineral matter atau abu yang berasal dari luar (extraneous/adventitious mineral matter), seperti slate, shale, claystone dan sandstone, b) organic sulfur yang terikat secara kimia dalam zat batubara, dan c) sulphates, terutama dengan Ca dan Fe. Metode pokok untuk penentuan kadar Total Sulfur (TS) dari suatu batubara adalah metode Escha dimana suatu contoh dicampur dengan MgCO<sub>3</sub> yang telah dikalsinasi diabukan, sulfur yang dibebaskan membentuk MgSO<sub>3</sub> yang kemudian diekstrak dengan asam atau alkali dan TS ditentukan dengan titrasi. Ada berbagai metode penentuan bentuk-bentuk belerang yang ada dalam suatu

contoh batubara dan kebanyakan melibatkan penaksiran/estimasi kadar pyritic dan sulfate dan perhitungan organic sulfur sebagai perbedaannya (by difference).

## **2.14 PENGUJIAN BATUBARA**

a. Nilai Kalori (Calorific Value = CV) suatu batubara dapat dianggap sebagai jumlah panas pembakaran dari bahan yang dapat terbakar yaitu C, H dan S dikurangi panas penguraian bahan karbonan dan plus minus reaksi endothermic atau exothermic yang terjadi di dalam pengotor. Karena itu, CV diukur dengan membakar suatu contoh batubara yang telah kering udara (air dried) dalam bomb calorimeter standar dalam O<sub>2</sub> berlebih dan perhitungan panas total yang dibebaskan setelah sistem tersebut kembali lagi dekat ke suhu sekitarnya (ambient temperatures). Jadi nilai yang diukur adalah nilai kalori kotor (gross CV) pada volume konstan.

Ada 2 (dua) penentuan CV : the higher (or gross) heating value (HHV) diasumsi bahwa uap air dalam produk pembakaran mengembun (kondensasi) dan karenanya termasuk panas latent penguapan uap air tersebut dalam produk pembakaran, sedangkan the lower heating value (LHV) tidak. Dengan kata lain, HHV (= gross calorific value) menggambarkan panas total yang tersedia ketika diukur dengan metode standar apabila semua produk pembakaran dikembalikan ke suhu ambient, sedangkan LHV (=net calorific value) adalah panas berguna yang tersedia dari suatu batubara dan dihitung dari HHV dengan pengurangan kehilangan panas tertentu seperti panas-panas sensibel dan laten dari produk pembakaran.

Walaupun CV diperoleh dengan pengujian dalam bomb calorimeter, tetapi ASTM D – 407 merekomendasikan formula untuk penentuan net calorific value (= LHV) sebagai berikut :

$$\text{Net CV (LHV)} = \text{Gross CV (HHV)} - 0,024 (9\{H\} + M) , \text{ MJ/kg,}$$

Keterangan :

HHV = gross CV pada volume konstan,

LHV = net CV pada tekanan konstan,

H = kadar hidrogen dalam batubara, tidak termasuk kadar air- lembab (=M), dan

M = kadar air-lembab total (% TM) dalam batubara

$$1 \text{ MJ/kg} = 239 \text{ kcal/kg} = 430 \text{ Btu/lb.}$$

Karena salah satu karakteristik yang sangat penting dari suatu bahan bakar adalah nilai kalori-nya yaitu banyak/jumlah energi per kg yang dihasilkannya bila dibakar, maka dalam praktek demi rujukan cepat, data analisa proksimat juga dapat digunakan untuk menghitung nilai kalori bahan bakar tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Gross (or higher) CV (= HCV) =  $20,0 \times (1 - A - M)$ , MJ/kg, dimana A = kadar abu (A) dan M = kadar air-lembab (M).

Lower (or net) CV (= LCV) =  $18,7 \times (1 - A - M) - 2,5 \times M$ , MJ/kg.

Sebagai ilustrasi aplikasi rumus-rumus ini sebagai berikut :

Suatu tipe biomass dengan M = 15 % dan A = 20 % akan mempunyai nilai kalori (CV) sesuai dengan rumus-rumus di atas :

$$\text{HCV} = 20,0 \times (1 - 0,2 - 0,15) = 13,0 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{LCV} = 18,7 \times (1 - 0,2 - 0,15) - 2,5 \times 0,15 = 11,8 \text{ MJ/kg}$$

b. Analisa Abu yang meliputi unsur-unsur utama (major elements) : Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, S, P ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ ). Selain unsur-unsur utama ini, batubara juga mengandung unsur-unsur runtuhan dan tanah jarang (trace and rare elements) dengan kadar totalnya kurang dari 0,02 % dimana kadar dari masing-masing unsur runtuhan sangat rendah (dalam ppm).

Dari pandangan biologi, logam-logam dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu logam ringan (Na, K, Ca), logam peralihan/transisi (Fe, Cu, Co, Mn) dan logam-logam berat (heavy metals) (Hg, Pb, Sr, Sn, As, Cd, Cr, Cu, Zn, Se, U, V, Be, Tl) dan unsur-unsur minor lainnya, seperti Cl dan F yang bersifat racun dan berbahaya terhadap lingkungan.

Karakteristik abu batubara dinyatakan oleh komposisi abu, titik leleh abu, tipe abu serta indeks slagging dan indeks fouling.

Dari komposisi unsur-unsur utama, abu batubara dapat dikarakterisasikan menurut tipenya yaitu bituminous dan lignitic, dan sifat keasaman dan kebasannya. Tipe abu yang bersifat bituminous adalah yang mempunyai rasio  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO} + \text{CaO}$  lebih besar dari 1. Sedangkan tipe abu lignitic mempunyai nisbah (rasio)  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{MgO}$  kurang dari 1.

c. Suhu Leleh Abu. Pengujian titik leleh abu meliputi suhu deformasi awal (Initial Deformation = ID), suhu pelunakan/sferis (softening = ST), suhu setengah bulat /hemisfer (Hemispherical = HT), dan suhu pelelehan/flow (Fluid = FT) dari abu batubara yang diukur di bawah kondisi baik oksidasi maupun reduksi (oxidizing and reducing conditions) dengan memanaskan suatu contoh abu yang dicetak menjadi

kerucut (cone) standar sambil mengamati perubahan profil kerucut tersebut sehingga dapat menguraikan pada suhu berapa terjadinya karakteristik pelunakan dan pelelehan abu (ID, ST, HT, dan FT). Suhu leleh abu batubara sangat penting dalam desain maupun pengoperasian boiler.

Suhu awal (ID) dan ST dikaitkan dengan perpindahan panas dan suhu gas buang karena itu harus ada batasan terhadap suhu gas buang yang memasuki bagian superheater yaitu harus lebih rendah dari suhu ID untuk menghindari pembentukan endapan (deposit) pada pipa superheater.

d. **Indek Ketergerusan Hardgrove (Hardgrove Grindability Hardgrove = HGI).**

Ketergerusan batubara merupakan sifat mekanik sebagai suatu faktor penting dalam pemilihan batubara untuk PLTU-B, dan juga untuk pemilihan dan penentuan ukuran penggiling. Ketergerusan batubara (coal grindability) adalah ukuran kemudahan batubara untuk digerus sampai kehalusan tertentu yang akan digunakan sebagai bahan bakar serbuk halus (pulverized coal). Ada 2 (dua) metode pengujian ketergerusan batubara yaitu Hardgrove test dan Ball Mill test. Dari kedua metode ini, indek Hardgrove (Hardgrove Index = HGI) adalah metode yang sangat umum untuk menggambarkan suatu ketergerusan batubara. HGI berkisar dari 20 sampai lebih besar dari 110 dengan kriteria bahwa semakin tinggi HGI menggambarkan semakin mudah batubara digerus/digiling.

Karena hampir 85,4 % dari potensi sumberdaya batubara Indonesia sekitar 57,85 milyar ton (2003) adalah batubara peringkat rendah (Low rank Coal = LRC)(dari lignit melalui bituminus dan subbituminus sampai anthrasit) disamping persyaratan kehalusan yang bervariasi dari suatu tipe batubara ke tipe yang lain (semakin tinggi FC, semakin

halus ukuran batubara), maka beberapa faktor yang mempengaruhi ketergerusan seperti peringkat dan bahan pengotor baik air-lembab maupun abu dapat diuraikan sebagai berikut.

Sebagai gambaran tentang karakteristik batubara Indonesia yaitu sebagai berikut : Ada 2 (dua) tipe batubara dengan peringkat yang berbeda diteliti yaitu lignit dan subbituminus dimana kedua peringkat batubara ini digolongkan ke dalam batubara peringkat rendah (Low Rank Coal = LRC). Oleh sebab itu, unit PLTU-B harus dirancang dengan batubara LRC dalam rangka menjamin pasokan kebutuhan PLTU-B sesuai dengan umur rancangan PLTU-B yang direncanakan.

Ada hubungan antara ketergerusan batubara dan peringkatnya yaitu bahwa ketergerusan meningkat sejalan dengan peningkatan peringkat yang diwakili oleh kadar zat-terbang (VM) dimana batubara LRC menunjukkan kenaikan yang lambat atau tidak terlalu berarti sama dari lignit ke subbituminus. Sedangkan dipandang dari kadar bahan-bahan pengotor (impurities) seperti air-lembab dan abu, ketergerusan juga dipengaruhi oleh kedua bahan pengotor tersebut dimana peningkatan kadar air-lembab dan kadar abu menyebabkan semakin sulit digerus. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa HGI akan menaik dengan menaiknya kadar Total Moisture (TM) secara non-linear sampai mencapai titik maksimum yang selanjutnya terus cenderung menurun.