

### BAB III

## LANDASAN TEORI

Batubara merupakan sumberdaya bahan bakar fosil dalam bentuk batuan sedimen yang dapat terbakar (*combustible organic sedimentary rock*), digunakan terutama sebagai sumber energi konvensional untuk menghasilkan panas atau energi di samping sebagai bahan baku industri (*feedstocks*). Pengembangan batubara dapat dilaksanakan melalui penerapan teknologi pemanfaatan yang diperoleh dari hasil-hasil kegiatan penelitian baik yang bersifat murni (*pure research*) maupun terapan (*applied research*). Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair atau dihidrogenasikan untuk membuat metan. Gas sintetis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan jalan gasifikasi sempurna dari batubara dengan oksigen dan uap atau udara dan uap (*Elliott, 1981*).

Penerapan teknologi pemanfaatan sangat ditentukan oleh karakteristik dan klasifikasi batubara itu sendiri, sehingga kelayakan suatu tipe batubara dapat dikembangkan melalui teknologi pemanfaatan yang harus cocok dengan persyaratan parameter mutu batubara tersebut. Penerapan itu dapat dilakukan dengan metoda pencairan batubara atau

*Coal Water Mixture* (CWM), dan berdasarkan pertimbangan jumlah sumberdaya atau cadangan serta karakteristik dan klasifikasinya.

### 3.1 Genesa Batubara

Proses pembentukan batubara terdiri dari beberapa tahapan tahapan sebagai berikut :

a. Pembentukan Gambut

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



Sumber: [Lehoboy.Wordpress.Com/Tag/Batubara,2010](http://Lehoboy.Wordpress.Com/Tag/Batubara,2010)

**Gambar 3.1**  
**Peat (Gambut)**

b. Pembentukan Lignit

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

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

Penutupan rawa gambut memberikan kesempatan pada bakteri untuk aktif dan penguraian dalam kondisi basa menyebabkan

dibebaskannya  $\text{CO}_2$  deoksigenasi dari ulmin, sehingga kandungan hidrogen dan karbon bertambah. Tahap kedua dari proses pembentukan batubara ini adalah tahap pembentukan lignit, yaitu batubara peringkat rendah yang mempunyai rumus perkiraan  $\text{C}_{79}\text{H}_{5,5}\text{O}_{14,1}$ . Dalam keadaan kering, lignit mengandung karbon 80,4%, hidrogen 0,5%, dan oksigen 19,1%.



Sumber: [thaicapital.co.th/index.php/front\\_end/product,2010](http://thaicapital.co.th/index.php/front_end/product,2010)

**Gambar 3.2**  
Lignit

c. Pembentukan Batubara Subbitumen

Tahap selanjutnya dari proses pembentukan batubara adalah pengubahan batubara bitumen peringkat rendah menjadi batubara bitumen peringkat pertengahan dan peringkat tinggi. Selama tahap ketiga, kandungan hidrogen akan tetap konstan dan oksigen turun. Tahap ini merupakan tahap pembentukan batubara Subbitumen (*Sub-bituminous Coal*).



Sumber: [thaicapital.co.th/index.php/front\\_end/product,2010](http://thaicapital.co.th/index.php/front_end/product,2010)

**Gambar 3.3**  
**Sub-Bituminus**

d. Pembentukan Batubara Bitumen

Dalam tahap keempat atau tahap pembentukan batubara bitumen (*Bituminous coal*), kandungan hidrogen turun dengan menurunnya jumlah oksigen secara perlahan-lahan, tidak secepat tahap-tahap sebelumnya. Produk sampingan dari tahap ketiga dan keempat ini adalah  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , dan mungkin  $\text{H}_2\text{O}$ .



Sumber: [amazonsupply.com/american-educational-bituminous-coal,2013](http://amazonsupply.com/american-educational-bituminous-coal,2013)

**Gambar 3.4**  
**Bituminus**

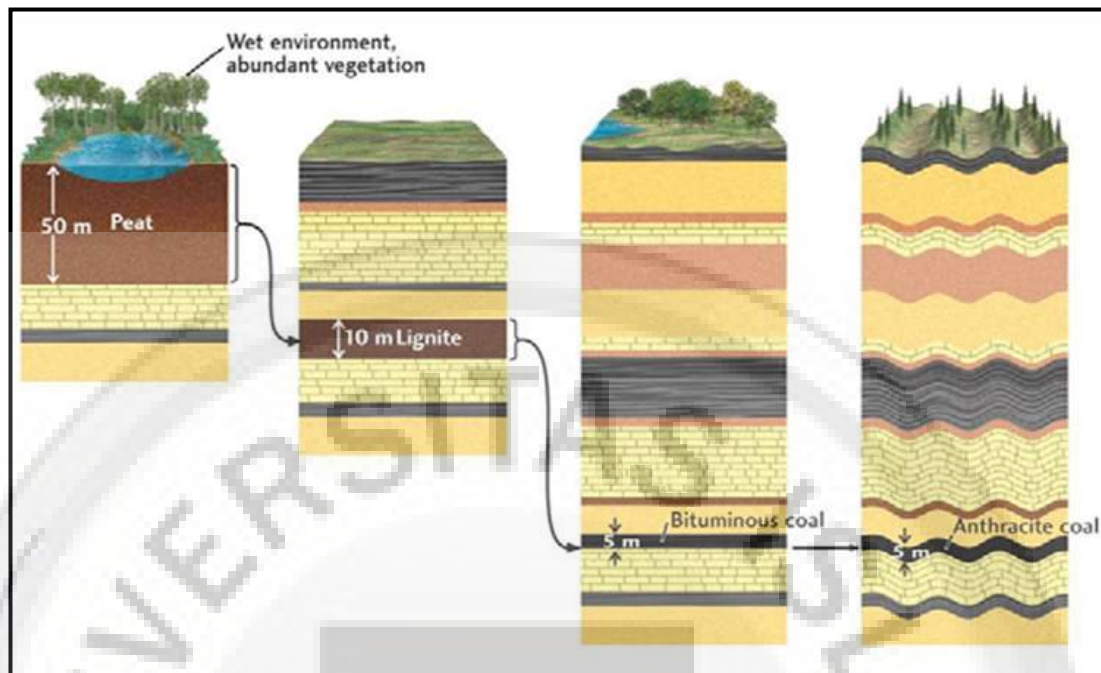
e. Pembentukan Antrasit

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



Sumber: [www.ua.all.biz/tr/antrasit-taskomurukomur,2009](http://www.ua.all.biz/tr/antrasit-taskomurukomur,2009)

**Gambar 3.5**  
**Antrasit**



Sumber : ayobelajargeologi.blogspot.com, 2013

**Gambar 3.6**  
**Skema Tahapan Pembentukan Batubara**

Ada beberapa macam lingkungan pengendapan berdasarkan karakteristik masing-masing lingkungan sebagai berikut:

1. Endapan Transisional (*Transitional lower delta plain*)

Endapan yang merupakan transisi antara *upper delta plain* dan lingkungan *lower delta plain* yang ditandai oleh perkembangan rawa yang intensif pada pengisian yang hampir lengkap dari teluk yang *interdistribusi*. Lapisan batubara pada umumnya tersebar meluas dengan kecenderungan agak memanjang sejajar dengan jurus pengendapan (Gambar 2.2). Seperti pada batubara *upper delta plain*, batubara di transisi ini berkembang split didaerah dekat *channel* kontemporer dan oleh *washout* yang disebabkan oleh aktivitas *channel* subsekuen.



## 2. Endapan *Upper Delta Plain* – Endapan *Fluvial*

Didalam lingkungan *upper delta plain* atau *fluvial*, endapan batubara terbentuk sebagai tubuh-tubuh *podshaped* pada bagian lapisan bawah dari dataran banjir yang berbatasan dengan *channel* sungai *bermeander*.

## 3.2 Definisi Klasifikasi Batubara

### 3.2.1. Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Batubara

Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara adalah upaya pengelompokan sumberdaya dan cadangan batubara berdasarkan keyakinan geologi dan kelayakan ekonomi.

Sumberdaya batubara (*Coal Resources*) adalah bagian dari endapan batubara dalam bentuk dan kuantitas tertentu serta mempunyai prospek beralasan yang memungkinkan untuk ditambang secara ekonomis. Lokasi, kualitas, kuantitas karakteristik geologi dan kemenerusan dari lapisan batubara yang telah diketahui, diperkirakan atau diinterpretasikan dari bukti geologi tertentu. Sumberdaya batubara dibagi sesuai tingkat kepercayaan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, terukur.

Pembagian kelas-kelas dalam sumberdaya batubara antara lain:

- Sumberdaya Batubara Tereka (*Inferred Coal Resource*)

Bagian dari total estimasi sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya hanya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan



yang rendah. Titik informasi yang mungkin didukung oleh data pendukung tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan batubara dan kualitasnya. Estimasi dari kategori kepercayaan ini dapat berubah secara eksplorasi lanjut.

- Sumberdaya Batubara Tertunjuk (*Indicated Coal Resource*)

Bagian dari total sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang masuk akal, didasarkan pada informasi yang didapatkan dari titik-titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung.

Titik informasi yang ada cukup untuk menginterpretasikan kemenerusan lapisan batubara, tetapi tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan kualitasnya.

- Sumberdaya Batubara Terukur (*Measured Coal Resource*)

Bagian dari total sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan tinggi, didasarkan informasi yang didapat dari titik-titik pengamatan yang diperkuat oleh data-data pendukung. Titik-titik pengamatan jaraknya cukup berdekatan untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan kualitasnya.

Cadangan batubara (*Coal Reserves*) adalah bagian dari sumberdaya tertunjuk dan terukur yang dapat ditambang secara ekonomis. Estimasi cadangan batubara harus memasukkan perhitungan *dilution* dan *losses* yang muncul pada saat batubara ditambang.

Penentuan cadangan secara tepat telah dilaksanakan yang mungkin termasuk studi kelayakan. Penentuan tersebut telah mempertimbangkan semua faktor-faktor yang berkaitan seperti metode penambangan, ekonomi, pemasaran, legal, lingkungan, social dan peraturan pemerintah. Penentuan ini harus dapat memperlihatkan bahwa pada saat laporan dibuat, penambangan ekonomis dapat ditentukan secara memungkinkan. Cadangan batubara dibagi sesuai dengan tingkat kepercayaannya ke dalam cadangan batubara terkira dan cadangan batubara terbukti.

Pembagian cadangan dapat dibagi dalam kelasnya antara lain:

- Cadangan Terkira (*Probable Reserve*): bagian dari sumberdaya batubara Terunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis setelah faktor-faktor penyesuai terkait diterapkan, dapat juga sebagian sumberdaya batubara terukur yang dapat ditambang secara ekonomis, tetapi ada ketidakpastian pada salah satu atau semua faktor penyesuai terkait diterapkan.
- Cadangan Terbukti (*Proved Reserve*): bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari sumberdaya batubara terukur setelah faktor-faktor penyesuai terkait diterapkan.

Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara didasarkan pada tingkat keyakinan geologi dan kajian kelayakan. Pengelompokan tersebut mengandung dua aspek yaitu:

- Aspek Geologi

Berdasarkan tingkat keyakinan geologi, sumberdaya terukur harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih besar dibandingkan dengan sumberdaya tertunjuk, begitu pula sumberdaya tertunjuk harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumberdaya terka. Sumberdaya terukur dan tertunjuk dapat ditingkatkan menjadi cadangan terkira dan terbukti apabila telah memenuhi kriteria layak. Tingkat keyakinan geologi tersebut secara kuantitatif dicerminkan oleh jarak titik informasi (singkapan, lubang bor).

- Aspek Ekonomi

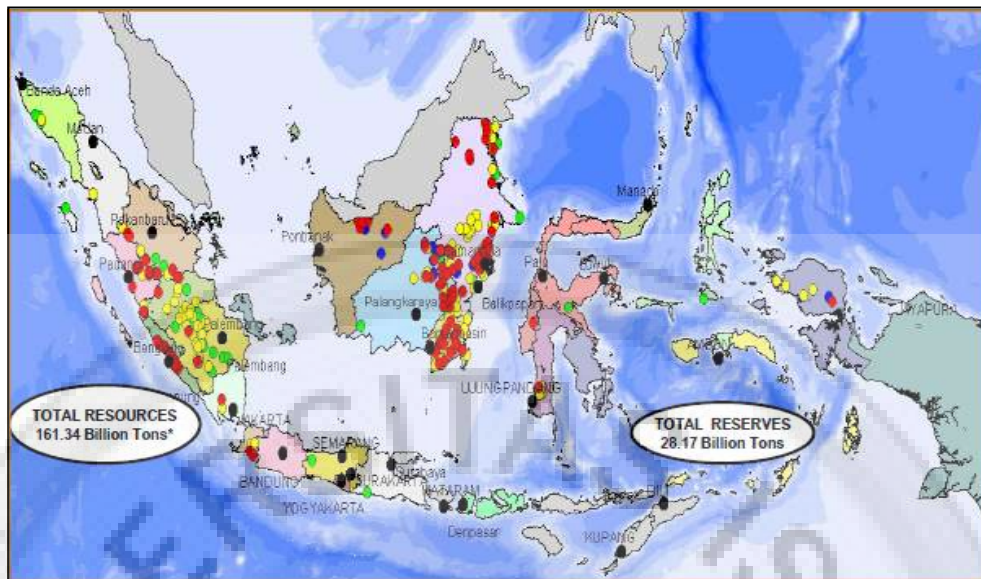
Ketebalan minimal lapisan batubara yang dapat ditambang dan ketebalan maksimal lapisan pengotor atau "*dirt parting*" yang tidak dapat dipisahkan pada saat ditambang, yang menyebabkan kualitas batubaranya menurun karena kandungan abunya meningkat, merupakan beberapa unsur yang terkait dengan aspek ekonomi dan perlu diperhatikan dalam menggolongkan sumberdaya dan cadangan batubara.

Perkembangan industri batubara di Indonesia sudah sangat maju, ditandai dengan banyaknya perusahaan yang menanamkan modalnya, baik dari investor luar maupun dalam negeri untuk melakukan kegiatan eksplorasi dan produksi batubara, sehingga terjadi kenaikan produksi batubara yang sangat signifikan dalam kurun waktu 15 tahun terakhir ini.

Namun sayangnya kegiatan industri batubara kebanyakan masih berfokus pada kegiatan penambangan dan penjualan batubara. Hal ini dapat dilihat dari semakin bertambah tingginya ekspor batubara dari tahun ketahun, dan tidak didukung dengan penggunaan batubara di dalam negeri yang cenderung sangat rendah.

Endapan batubara Indonesia tersebar luas di seluruh kepulauan, namun batubara yang bernilai ekonomis hanya terkonsentrasi pada cekungan-cekungan Tersier di Indonesia bagian barat yaitu di Pulau Kalimantan dan Sumatera. Endapan batubara dengan potensi kecil (<5 juta ton) terdapat pada cekungan-cekungan tersier di Pulau Jawa, Kalimantan Barat, Sulawesi dan Papua. Pada umumnya lapisan batubara Indonesia mempunyai ketebalan 0,5 - 12 meter, walaupun dilaporkan ada lapisan batubara yang mempunyai ketebalan mencapai 40 meter di Kalimantan Timur dan Selatan.

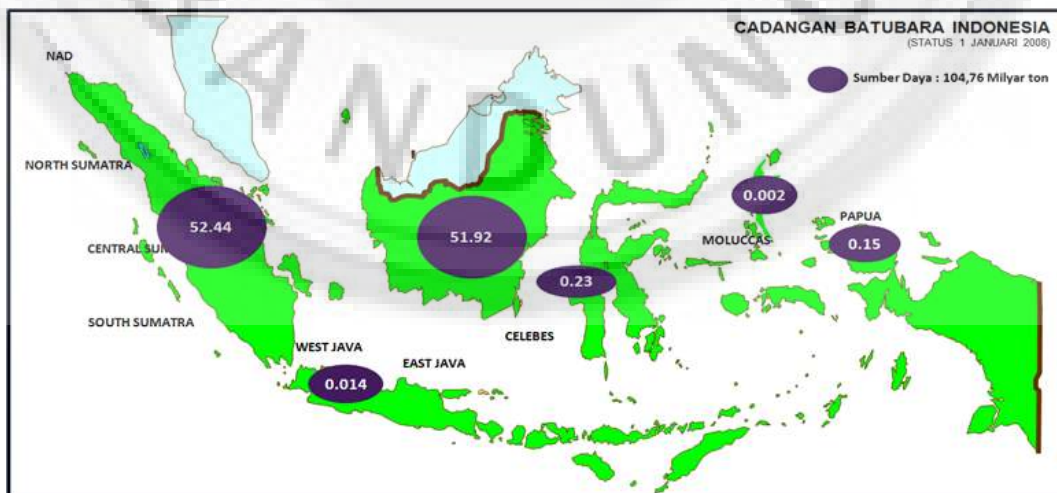
Dari hasil eksplorasi *intensif* yang dilakukan baik oleh swasta, Badan Usaha Milik Negara (BUMN) maupun pemerintah, diketahui sumber daya batubara Indonesia sebesar 161,34 milyar ton (Badan Geologi, 2012). Walaupun sumber daya batubara tersebut tergolong cukup besar tetapi yang dapat diklasifikasikan sebagai cadangan terukur relatif kecil yaitu hanya sekitar 28,17 miliar ton. Sumber daya batubara Indonesia terpusat di Pulau Sumatera (52,44%) dan Kalimantan (51,92%) seperti terlihat pada Gambar 3.7. dan Gambar 3.8.



Sumber : Badan Geologi KESDM, 2012

**Gambar 3.7**  
**Potensi Batubara Indonesia**

Potensi batubara yang sedemikian besar di atas tantangan kedepan adalah mengupayakan perimbangan strategis antara peran penting batubara sebagai energi primer yang ekonomis bagi kegiatan produksi di Indonesia dan mengubah cara pandang konvensional sekedar untuk penerimaan negara.

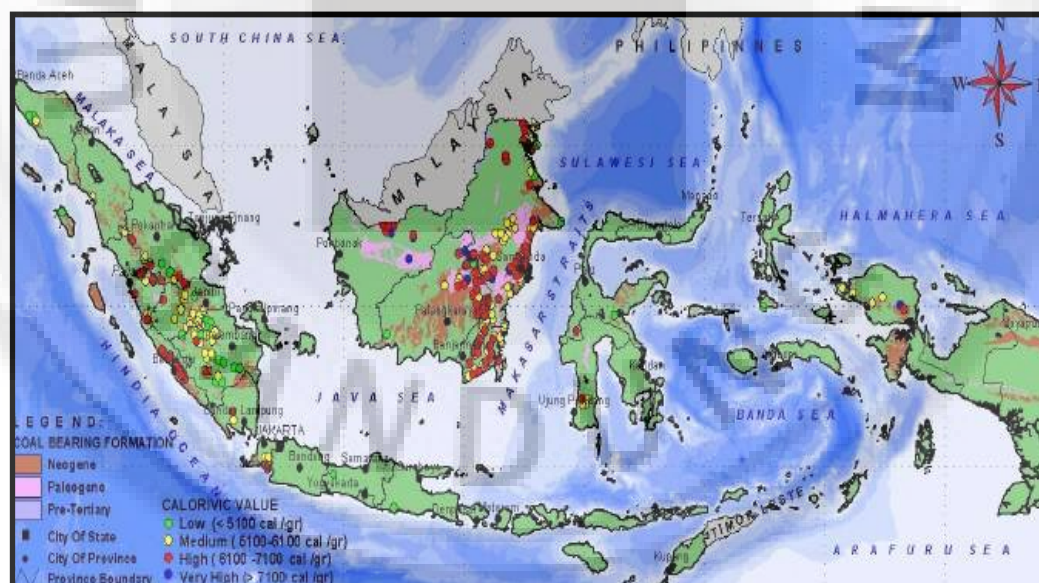


Sumber : Badan Geologi KESDM, 2012

**Gambar 3.8**  
**Penyebaran Sumberdaya dan Cadangan Batubara Per Wilayah Koridor Ekonomi**



Kualitas batubara Indonesia sangat bervariasi. Hal ini sangat erat hubungannya dengan kondisi atau lingkungan pengendapan tempat dimana batubara tersebut terbentuk. Mengingat sebagian besar batubara Indonesia terbentuk pada cekungan-cekungan sedimentasi Tersier berumur Neogen, maka batubara tersebut memiliki peringkat lignit dan subbituminus dengan nilai kalori rendah dan sedang. Hanya di beberapa tempat, seperti di daerah Bukit Asam-Sumatera Selatan, Bengkulu-Sumatera dan Kubah Pinang (Sangata), Kalimantan Timur, dimana batubara peringkat rendah di daerah-daerah tersebut terpengaruh oleh panas dari intrusi magma sehingga menyebabkan kualitas (nilai kalor) batubara meningkat, ada yang mencapai peringkat antrasit.

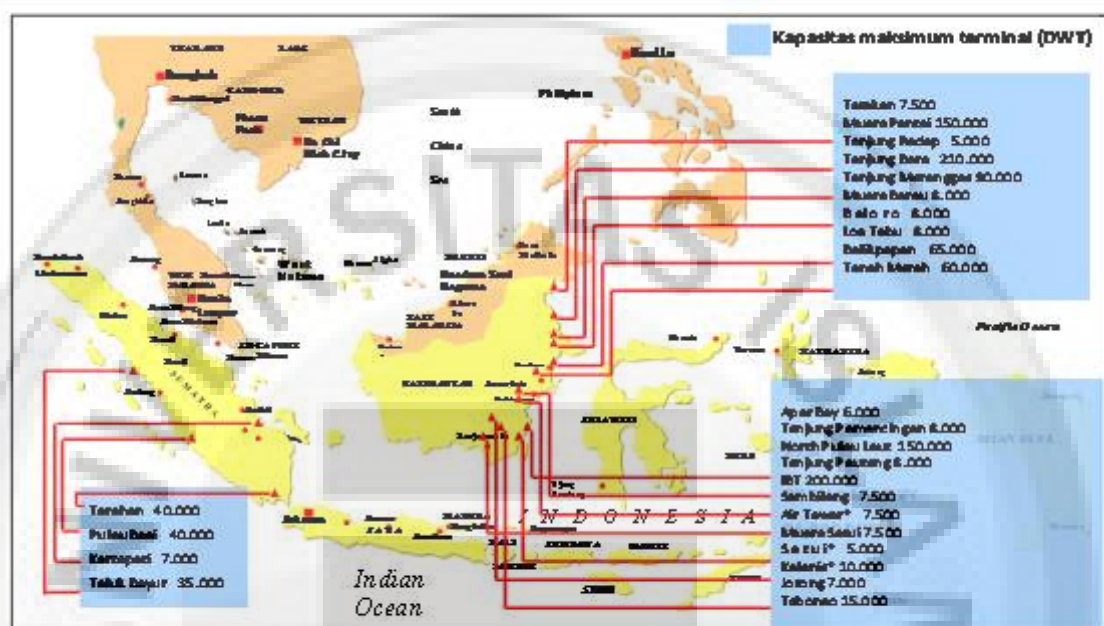


Sumber : Badan Geologi KESDM, 2012

**Gambar 3.9**  
**Peta Formasi Batuan Penyebaran Batubara Per Wilayah Koridor Ekonomi Berdasarkan Kualitasnya**

Gambar 3.10 memperlihatkan peta lokasi fasilitas dan kapasitas terminal angkutan batubara di beberapa wilayah Indonesia, terutama di

bagian timur dan selatan Pulau Kalimantan serta bagian selatan dan barat pulau Sumatera. Seperti diketahui bahwa konsumen domestik batubara terutama terdapat di Pulau Jawa dan Sumatera.



Sumber : Badan Geologi KESDM, 2012

**Gambar 3.10**  
**Fasilitas Terminal Batubara di Indonesia**

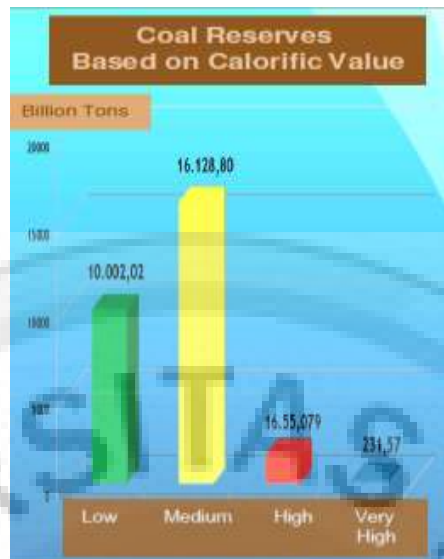
Klasifikasi batubara Indonesia mengacu pada Keppres No. 13 Tahun 2000 yang diperbaharui dengan PP No. 45 Tahun 2003 tentang Tarif atas jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang berlaku pada Departemen Pertambangan dan Energi bidang Pertambangan Umum. Berdasarkan klasifikasi itu maka batubara Indonesia dibagi menjadi empat macam yaitu :

- Batubara Kalori Rendah, adalah jenis batubara yang paling rendah peringkatnya, bersifat lunak-keras, mudah diremas, mengandung kadar air tinggi (10-70%), memperlihatkan struktur kayu, nilai kalorinya  $< 5100$  kal/gr (adb).



- Batubara Kalori Sedang, adalah jenis batubara yang peringkatnya lebih tinggi, bersifat lebih keras, mudah diremas tidak bisa diremas, kadar air relatif lebih rendah, umumnya struktur kayu masih tampak, nilai kalorinya 5100 – 6100 kal/gr (adb).
- Batubara Kalori Tinggi adalah jenis batubara yang peringkatnya lebih tinggi, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kadar air relatif lebih rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak, nilai kalorinya 6100 - 7100 kal/gr (adb).
- Batubara Kalori Sangat Tinggi, adalah jenis batubara dengan peringkat paling tinggi, umumnya dipengaruhi intrusi ataupun struktur lainnya, kadar air sangat rendah, nilai kalorinya >7100 kal/gr (adb). Kualitas ini dibuat untuk membantasi batubara kalori tinggi.

Sebagian besar batubara Indonesia termasuk kalori rendah dan sedang hingga mencapai 88% dari total cadangan batubara Indonesia. Jumlah cadangan batubara Indonesia berdasarkan klasifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Sumber: Data Neraca Batubara Indonesia Tahun 2012, Badan Geologi, Kementerian ESDM

**Gambar 3.11**  
**Cadangan Batubara di Indonesia Berdasarkan Nilai Kalori**

Secara umum kandungan mineral atau abu yang terdiri atas mineral lempung, kuarsa, pirit dan kalsit umumnya bervariasi dari 1 sampai 16%. Kandungan sulfur pada sebagian besar batubara umumnya adalah rendah (<1%), walaupun ada batubara yang terbentuk di bagian utara Kalimantan Timur memiliki kandungan sulfur mencapai 3,0%. Nilai ketergerusan (HGI) batubara Indonesia dibagi menjadi 4 grup, yaitu sangat keras (<40), keras (40-<50), sedang (50-60) dan lembek (>60). Kandungan natrium pada batubara Indonesia sangat bervariasi dan pada umumnya cukup rendah (<2).

### 3.2.2. Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

Pada dasarnya batubara terdiri dari karbon, oksigen dan nitrogen. Menurut ASTM (*American Society for Testing and Material*) membagi batubara kedalam peringkat berdasarkan pada kandungan karbon padat

dalam *dry mineral matter free (dmmf)* dan nilai kalor dalam *moisture mineral matter free (mmf)* menjadi lignit, bituminus dan antrasit.

Dari tinjauan beberapa senyawa dan unsur yang terbentuk pada saat proses *coalification* (proses pembatubaraan), maka dapat dikenal beberapa jenis batubara yaitu:

a. Gambut

Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah. *Peat* atau gambut, ( $C_{60}H_6O_{34}$ ) dengan sifat :

- Warna coklat
- Material belum terkompaksi
- Mempunyai kandungan air yang sangat tinggi
- Mempunyai kandungan karbon padat sangat rendah
- Mempunyai kandungan karbon terbang sangat tinggi
- Sangat mudah teroksidasi
- Nilai panas yang dihasilkan amat rendah

b. Lignit

Lignit atau batubara coklat adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya. Lignit atau *brown coal*, ( $C_{70}OH_5O_{25}$ ) dengan ciri :

- Warna kecoklatan
- Material terkompaksi namun sangat rapuh
- Mempunyai kandungan air yang tinggi
- Mempunyai kandungan karbon padat rendah

- Mempunyai kandungan karbon terbang tinggi
- Mudah teroksidasi
- Nilai panas yang dihasilkan rendah.

c. Sub-Bituminus

Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus. Sub-bituminus ( $C_{75}OH_5O_{20}$ ) dengan ciri :

- Warna hitam
- Material sudah terkompaksi
- Mempunyai kandungan air sedang
- Mempunyai kandungan karbon padat sedang
- Mempunyai kandungan karbon terbang sedang
- Sifat oksidasi menengah
- Nilai panas yang dihasilkan sedang.

d. Bituminus

Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Bituminus ( $C_{80}OH_5O_{15}$ ) dengan ciri :

- Warna hitam
- Material sudah terkompaksi
- Mempunyai kandungan air sedang
- Mempunyai kandungan karbon padat sedang
- Mempunyai kandungan karbon terbang sedang
- Sifat oksidasi menengah

- Nilai panas yang dihasilkan sedang

e. Antrasit

Antrasit adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%. Antrasit ( $C_{94}OH_3O_3$ ) dengan ciri :

- Warna hitam mengkilat
- Material terkompaksi dengan kuat
- Mempunyai kandungan air rendah
- Mempunyai kandungan karbon padat tinggi
- Mempunyai kandungan karbon terbang rendah
- Relatif sulit teroksidasi
- Nilai panas yang dihasilkan tinggi.

**Tabel 3.1**  
**Rank batubara**

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

Sumber: American Society for Testing and Material, 1993

### 3.3 Analisis Batubara

Analisis batubara untuk bahan bakar dibagi menjadi dua golongan yaitu analisa proksimat serta analisis ultimat.

#### 3.3.1 Analisis Proksimat

Hasil dari analisis proksimat memberikan dapat dibagi dalam beberapa tahapan yaitu:

a. Kandungan Air (*Moisture Content*)

*Moisture Content* dalam batubara terdiri atas dua jenis, yaitu *free moisture* dan *inherent moisture*. *Moisture* yang datang dari luar saat batubara itu ditambang dan diangkut atau terkena hujan selama penyimpanan disebut *free moisture*. *Moisture* jenis ini dapat dihilangkan dari batubara dengan cara dianginkan atau dikering-udarkan. Semua batubara mempunyai pori-pori berupa pipa-pipa kapiler, dalam keadaan alami pori-pori ini dipenuhi oleh air, didalam standar ASTM, air ini disebut *moisture bawaan (inherent moisture)*. Semakin tinggi kandungan *inherent moisture* maka semakin rendah peringkat batubara tersebut.

b. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

*Volatile Matter* adalah senyawaan dalam batubara yang mudah menguap pada temperatur tertentu dalam kondisi standar. Terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti air, oksida-oksida karbon, hidrogen dan metan, hidrogen sulfida, ammonia, tar dan oksida-oksida sulfur dan nitrogen. *Volatile matter* digunakan sebagai ukuran kualitas batubara. *Volatile matter* mempengaruhi pembakaran batubara dalam *furnace/tanur*.

Kandungan zat terbang (*volatile matter*) berhubungan erat dengan proses pembatubaraan (*coalification*).

c. Kandungan Abu (*Ash Content*)

*Ash* (abu) adalah bahan-bahan yang tidak terbakar setelah pembakaran sample. Abu dalam batubara bersumber dari mineral matter dalam batubara dan unsur pengotor dari batupasir, tanah dsb yang berasal dari bagian penutup, dasar atau parting pada lapisan batubara. 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.

Hasil kadar abu (*ash content*) digunakan untuk mengukur kualitas batubara dan efisiensi proses pembersihan. Keuntungan dari penentuan *ash content* menggunakan metode *rapid*/cepat karena hasil *ash content* diperlukan sesegera mungkin oleh operator plant untuk memonitor kinerja plant dan kualitas produksi.

d. Kandungan Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

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



e. Nilai Kalor (*Calorific Value*)

*Calorific Value* merupakan indikasi kandungan nilai energi yang terdapat pada batubara dengan satuan cal/gr atau kcal/gr. Peringkat batubara akan naik jika nilai kalornya makin tinggi. Nilai kalor batubara adalah total panas yang dihasilkan pada pembakaran komponen-komponen batubara yang sudah terbakar, seperti karbon, hidrogen dan belerang. Nilai kalor dapat dinyatakan langsung dari komposisi kimia batubara dan diperhatikan dari analisis ultimat. Nilai kalor batubara berhubungan langsung dengan komposisi unsur-unsur yang ada dalam batubara.

### 3.3.2 Analisis Ultimate

Analisis ultimate dari batubara terdiri dari penentuan karbon dan hydrogen sebagai produk gas, dari pembakaran sempurna, penentuan sulfur, nitrogen dan ash dalam material secara keseluruhan, dan perhitungan oksigen dari selisihnya.

a. Karbon dan hidrogen

Dibebaskan sebagai  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  ketika batubara dibakar.  $\text{CO}_2$  bisa berasal dari mineral karbonat yang ada, dan  $\text{H}_2\text{O}$  bisa berasal dari mineral lempung atau inherent moisture pada air-dried coal atau pada keduanya.

b. Nitrogen

Kandungan nitrogen dari batubara merupakan hal yang signifikan, khususnya dengan hubungan polusi udara. jadi batubara dengan

nitrogen yang rendah lebih diharapkan pada industri. Batubara tidak boleh mengandung nitrogen lebih dari 1.5-2.0% (d.a.f.)

c. Sulphur

Sebagaimana nitrogen, kandungan sulfur dari batubara menyebabkan masalah dengan polusi dan kegunaan. Sulfur menyebabkan korosi dan pengotoran pada pipa boiler dan menyebabkan polusi udara ketika dikeluarkan sebagai asap cerobong. Sulfur dapat hadir di batubara dalam 3 bentuk:

- Sulfur organik, hadir pada senyawa organik pada batubara.
- *Pyritic* sulfur, hadir sebagai mineral sulfide pada batubara, pada dasarnya *iron pyrite*.
- Mineral sulfat, biasanya *hydrrous iron* atau kalsium sulfat, dihasilkan dari oksidasi fraksi sulfide pada batubara.

Kandungan total dari sulfur pada *steam coal* yang digunakan untuk pembangkit listrik tidak boleh melebihi 0.8-1 % (air-dried); jumlah maksimum tergantung dari peraturan emisi lokal. Pada industri semen, total sulfur > 2% masih diterima, tapi *coking coals* diperlukan maksimum 0.8% (air-dried) karena *value* yang lebih tinggi mempengaruhi kualitas baja.

d. Oksigen

Oksigen merupakan komponen dari banyak campuran organik dan anorganik pada batubara, sebagaimana kandungan *moisture*. ketika batubara teroksidasi, oksigen dapat hadir sebagai oksida,

hidroksida dan mineral sulfat, seperti material organik yang teroksidasi. perlu diingat bahwa oksigen merupakan *indicator* penting *rank coal*.

### 3.4 **Coal Water Mixture (CWM)**

#### 3.4.1 **Defenisi CWM**

CWM adalah bahan bakar campuran antara batubara dan air yang dengan bantuan zat *aditif* membentuk suspensi kental yang homogen dan stabil selama penyimpanan, pengangkutan dan pembakaran. Teknologi CWM sudah berkembang pesat di negara-negara maju, seperti Jepang, Australia, Amerika dan China. CWM digunakan untuk pemanasan pada pengolahan minyak di kilang-kilang dan industri yang biasa menggunakan *boiler*. Keuntungan penggunaan batubara dalam bentuk CWM antara lain:

- Sifat alirnya yang tergolong bersifat cairan (*fluida*) sama dengan sifat alir bahan bakar minyak (BBM).
- Dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar cair menggantikan minyak bakar di kilang-kilang minyak atau industri lainnya yang biasa menggunakan minyak bakar berat (*heavy fuel oil*) sebagai bahan bakar untuk pengolahan produknya.
- Penanganan sama dengan penanganan minyak berat. Memungkinkan pengiriman/pengangkutan CWM di antara berbagai lokasi di dalam/luar instalasi/pabrik lewat pipa.

- Dapat menggunakan boiler yang sama dengan boiler yang biasa digunakan untuk minyak berat dengan melakukan sedikit modifikasi
- Batubara dalam bentuk suspensi dapat ditangani secara lebih bersih hingga menunjang program bersih lingkungan dan terhindar dari kemungkinan terjadinya pembakaran spontan, peledakan dan masalah debu yang biasa ditimbulkan batubara dalam bentuk serbuk.

### 3.4.2 Teknologi Pembuatan CWM

Teknologi pembuatan CWM sebenarnya cukup sederhana, yaitu dengan mencampurkan batubara dan air dalam perbandingan tertentu. Dengan adanya pengungkungan/penjebakan batubara di dalam air, maka CWM mempunyai sifat yang sama dengan BBM (minyak berat) sehingga bisa dialirkan atau dipompa untuk transportasi maupun pembakaran. Dengan demikian CWM dapat digunakan untuk bahan bakar tanpa banyak mengubah *boiler*. Gambar 1 menunjukkan CWM yang baru dibuat yang mempunyai sifat fisik sebagai bahan bakar cair (*fluida*).



**Gambar 3.12**  
Hasil Pencairan Batubara atau *Coal Water Mixture (CWM)*

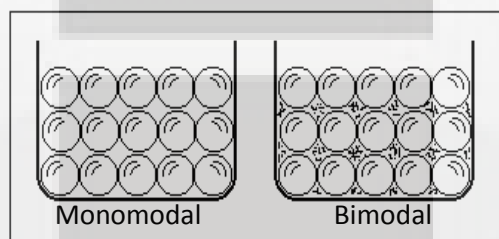
Sebagai bahan bakar, ada beberapa karakteristik CWM yang perlu diperhatikan, yaitu:

- Stabil, selama penyimpanan, pengangkutan dan pembakaran,
- Mempunyai konsentrasi batubara yang tinggi,
- Mudah dilairkan melalui pipa baik saat pengangkutan maupun saat pembakaran,
- Mudah dibakar dengan temperatur nyala yang tinggi.

CWM merupakan campuran batubara dan air, karena itu sifat permukaan batubara terhadap air mempunyai pengaruh yang besar. Sifat permukaan yang hidrofilik memegang peranan penting dan dapat mempengaruhi kestabilan CWM, karena sifat ini berkaitan dengan kemampuan membasahi (*wetting ability*) permukaan butiran batubara (Hashimoto, 1999).

Batubara sebagai bahan baku pembuatan CWM sebaiknya batubara dengan kadar air yang relatif rendah (<10%). Karena batubara dengan kadar air yang tinggi (lignit dan sub-bituminus) biasanya bersifat hidrofilik, yaitu sifat menyukai air sehingga air yang diperlukan untuk pembuatan CWM lebih besar. Dengan tingginya kadar air dalam CWM, maka viskositas CWM rendah sehingga kestabilan menurun. Selain itu, nilai kalor CWM juga menjadi semakin rendah. Oleh sebab itu sebagai bahan baku pembuatan CWM, batubara peringkat rendah perlu melalui proses upgrading terlebih dahulu sehingga sifat permukaan yang hidrofilik menjadi hidrofobik.

Ukuran partikel batubara juga sangat berpengaruh terhadap kestabilan CWM. Makin besar ukuran partikel batubara, makin besar pula kecepatan pengendapan batubara dalam air (Hukum Stokes). Secara teoritis, CWM dengan ukuran partikel bimodal akan mempunyai kandungan batubara yang lebih besar dibandingkan dengan yang monomodal (*Thambimuthu, 1994*). Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, ukuran partikel batubara optimum adalah 80% lolos saringan -200 mesh dan 20% diantaranya tidak lebih besar dari 120 mesh (Umar et al, 2001).



**Gambar 3.13**  
**Distribusi Ukuran Partikel Batubara Monomodal dan Bimodal dalam CWM**

Dengan adanya perbedaan berat jenis antara batubara dan air, maka terdapat kecenderungan batubara untuk memisah hingga terbentuk endapan batubara. Untuk mencegah hal itu maka perlu ditambah bahan aditif agar batubara tersebut tetap terdispersi dengan baik membentuk suspensi yang homogen dan stabil. Bahan *aditif* yang digunakan untuk membuat CWM pada umumnya adalah bahan kimia yang mempunyai pengaruh terhadap penurunan tegangan permukaan yang biasa disebut dengan surfaktan. Biasanya bahan *aditif* ini berupa bahan organik yang mempunyai gugusan  $-N-CH_2-CH_2-O-$ . Dengan penambahan surfaktan,

terjadi penurunan tegangan permukaan dan keseimbangan termodinamik dapat didekati walaupun tidak sampai mencapai angka nol dan suspensi masih mempunyai kecenderungan untuk menggumpal. Maka dari itu, bahan aditif ini selain sebagai surfaktan juga harus sebagai penyebar (*dispersant*) dan pensuspensi (*suspending agent*) untuk mempertahankan partikel yang cenderung menggumpal tersebut tetap tersebar dengan baik dalam suspensi. Ada tiga kelompok besar dari bahan aditif jenis surfaktan ini, yaitu jenis anionik, kationik dan nonionik .

**Tabel 3.2.**  
**Klasifikasi aditif**

Jenis	Grup fungsional	Contoh
Anionik	Senyawa-senyawa dengan radikal SO <sub>3</sub> atau SO <sub>4</sub> atau OSO <sub>4</sub>  Senyawa-senyawa dengan radikal COO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Alkyl benzene sulfonic acid</i></li> <li>• <i>Petroleum sulfonic acid</i></li> <li>• <i>Alkyl diphenyl ether disulfonic acid</i></li> <li>• Tipe sabun</li> <li>• Mono dan <i>poly carboxylic acid</i></li> </ul>
Kationik	Garam-garam <i>ammonium quaternary</i>  Turunan-turunan lemak amino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jenis-jenis <i>mono alkyl</i> dan <i>di alkyl</i></li> <li>• <i>Mono/poly amine/</i> turunan amino dengan radikal amida dan eter</li> </ul>
Non-ionik	Senyawa-senyawa atau turunan <i>ethoxylated alkyl</i> atau alkohol  Amida atau lemak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Etoxylated alkyl phenol</i></li> <li>• <i>Etoxylated glycerol ester</i></li> <li>• Asam lemak amida dan turunannya</li> </ul>

Sumber: CWM in Japan (1997)

### 3.4.3 Teknologi Pembakaran CWM

Pembakaran CWM dilakukan dengan menyemprotkan CWM menggunakan pompa ke tungku pembakaran yang telah dipanaskan terlebih dahulu (sistem injeksi). Komponen yang paling penting dalam proses pembakaran adalah *burner*, yaitu suatu alat untuk mengendalikan



pencampuran udara dengan bahan bakar untuk menghasilkan nyala api yang stabil. Secara umum, proses pembakaran meliputi dua tahap, yaitu tahap penguapan air dan tahap penyalaan.

a. Tahap penguapan air

Sesaat setelah CWM disemprotkan ke tungku pembakar, peristiwa pertama yang terjadi adalah peristiwa penguapan air. Selama proses ini batubara belum terbakar. Saat penguapan proses penyalaan tertunda dan dapat menurunkan suhu tungku. Oleh karena itu makin cepat waktu penguapan air, makin sempurna pembakaran CWM.

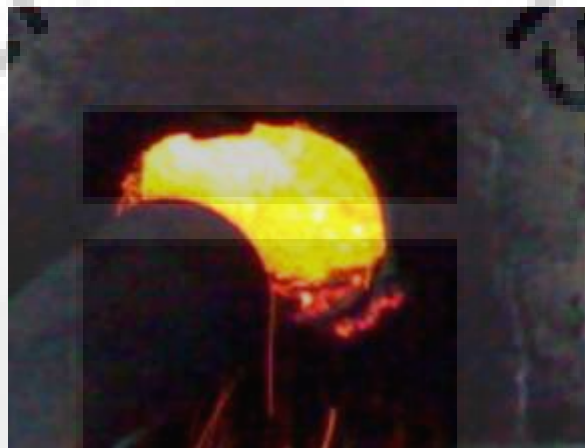
Untuk membantu mempercepat penguapan kandungan air dalam CWM dapat digunakan udara pembakar yang telah dipanaskan terlebih dahulu. Dengan digunakannya udara panas sebagai udara pembakaran, maka peristiwa penguapan air menjadi lebih cepat.

Penguapan air akan mengakibatkan jumlah uap air ( $H_2O$ ) naik dalam konsentrasi yang tinggi. Kehadiran uap air akan berfungsi sebagai katalis pada pembentukan radikal hidroksil ( $OH$ ). Radikal hidroksil tersebut selain bereaksi dengan gas  $CO$  bereaksi pula dengan partikel karbon yang terdapat dalam batubara.

b. Tahap penyalaan

Pada prinsipnya, pembakaran adalah reaksi antara karbon dan hidrogen yang ada dalam batubara, dengan oksigen dari udara yang menghasilkan karbondioksida dan uap air serta panas. Jumlah oksigen yang diperlukan dalam pembakaran tersebut secara teoritis dapat dihitung

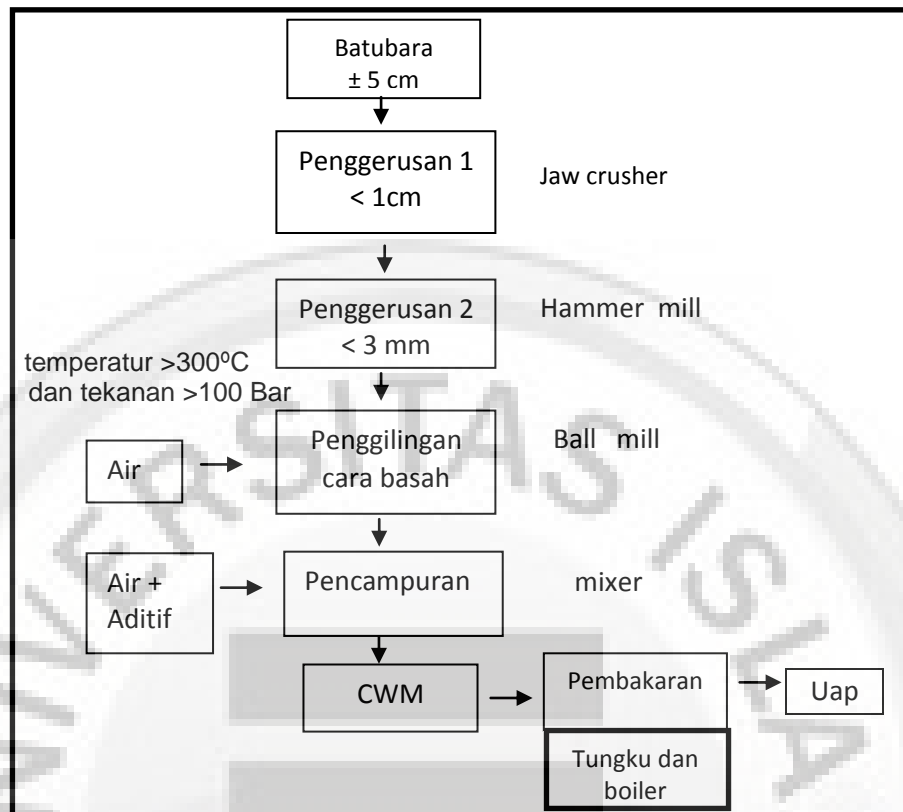
dan disebut dengan kebutuhan stokhiometri. Pada kenyataannya karena proses pembakaran tidak mencapai keadaan ideal, diperlukan  $O_2$  yang berlebih, yaitu udara yang dikonsumsi lebih besar dari kebutuhan teoritis. Nyala api CWM dapat dilihat pada Gambar 3.14. Peralatan pembuatan dan pembakaran CWM yang ada di Palimanan dengan kapasitas 4 ton/hari dapat dilihat pada Gambar 3.15, dan bagan alir pembuatan CWM dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.14**  
**Nyala Api CWM**



**Gambar 3.15**  
**Peralatan Pembuatan CWM Kapasitas 4 ton/hari di Palimanan, Jawa Barat**

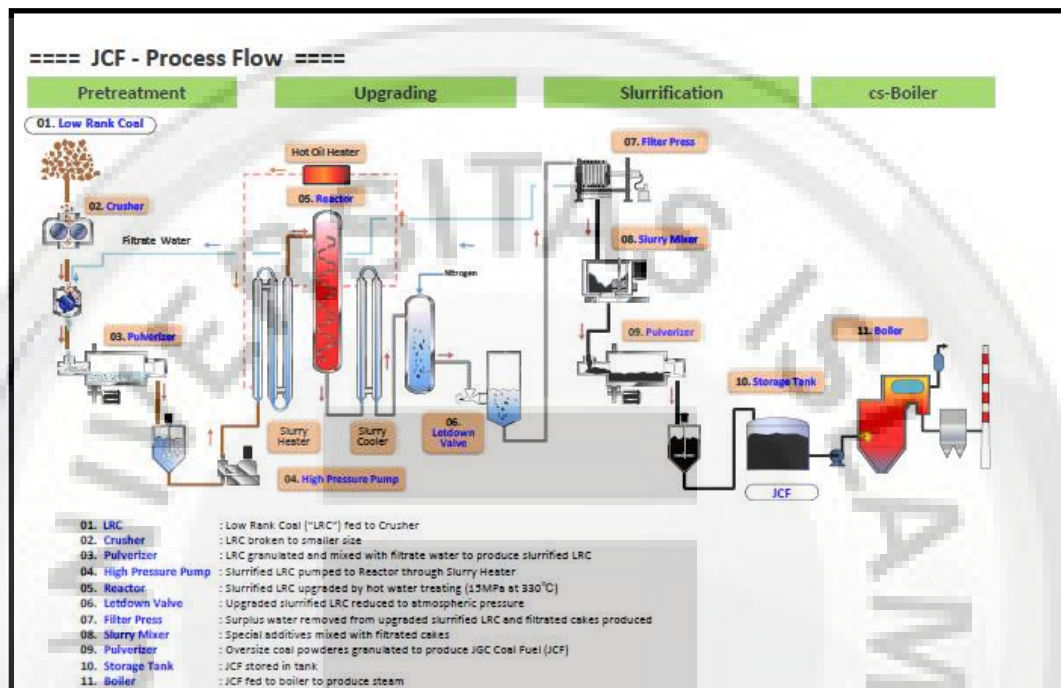


**Gambar 3.16**  
**Bagar Alir Pembuatan dan Pembakaran CWM**

#### 3.4.4 CWM Demonstration Plant

Pabrik CWM skala percontohan (*demonstration plant*) yang merupakan satu tahapan sebelum ke skala komersial, telah dibangun di Karawang, Jawa Barat dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Pabrik ini dibangun oleh JGC Corp. Jepang sehingga produknya disebut dengan JCF (JGC Coal Fuel). Sebagai bahan baku digunakan batubara peringkat rendah yang berasal dari beberapa daerah di Indonesia. Untuk merubah sifat permukaan yang hidrofilik menjadi hidorobik serta untuk mengurangi kadar air, maka dilakukan proses upgrading dengan teknologi *hot water treating* (HWT). Proses ini dilakukan pada temperatur  $>300^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $>100$  Bar. Batubara hasil proses upgrading, digerus dan ditambah

dengan air dan aditif untuk mendapatkan slurry yang dapat mengalir dan stabil selama penyimpanan, pengangkutan dan pembakaran. Bagan alir proses pembuatan JCF dapat dilihat pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17**  
**Bagan Alir Proses Pembuatan dan Pembakaran JCF**

Secara garis besar, ada 4 tahapan proses pembuatan dan pembakaran JCF di Karawang, yaitu:

- Tahap 1: preparasi batubara peringkat rendah untuk menghasilkan batubara dengan ukuran < 1mm dengan menggunakan *hammer mill*.
- Tahap 2: upgrading batubara peringkat rendah dengan teknologi HWT; batubara hasil penghalusan dimasukkan ke dalam *mixer* dan dicampur dengan air (30% batubara, 70% air) hingga membentuk *slurry*, lalu dipanaskan pada temperatur > 300°C dan tekanan > 100 Bar dalam suatu

reaktor untuk menghilangkan kadar air dari batubara tersebut.

- Tahap 3: batubara hasil proses *upgrading*, disaring untuk mengurangi kadar air dalam slurry lalu dihaluskan kembali hingga berukuran  $< 200$  mesh. Batubara yang telah halus ditambah dengan aditif dan air dalam suatu high speed *mixer*. JCF yang telah jadi kemudian disimpan di tanki.
- Tahap 4: JCF dari tanki dipompakan dengan menggunakan pompa bertekanan tinggi melalui *spray burner* ke ruang bakar. Panas yang dihasilkan digunakan sebagai bahan bakar boiler.

JCF demonstration plant mengkonsumsi batubara sebanyak 18 ton/hari dan memproduksi CWM sebanyak 26 ton dengan kandungan batubara dalam CWM sekitar 63% dan nilai kalor rata-rata sekitar 4.000 kal/kg.

### 3.5 Spesifikasi Batubara CWM

Batubara sebagai bahan baku pembuatan CWM sebaiknya batubara dengan kadar air yang relatif rendah ( $< 10\%$ ) atau bituminus dengan nilai kalori  $> 6.000$  kal/g. Kondisi pengusahaan batubara dengan spesifikasi tersebut di atas saat ini cukup memprihatinkan dengan tingkat ekspor yang mencapai 80% (ESDM, 2012). Dari tingkat produksi

Indonesia terus meningkat dan menjadi hal yang ironis jika teknologi pemanfaatan batubara khususnya teknologi CWM yang telah berhasil dikembangkan dan diaplikasikan di beberapa negara lain.

Teknologi CWM akan sangat menentukan jenis kualitas dan kuantitas batubara yang akan digunakan. Berdasarkan kondisi saat ini dapat diketahui bahwa teknologi CWM dengan menggunakan batubara peringkat rendah memerlukan teknologi *upgrading* sebagai konversinya. Oleh karena teknologi *upgrading* saat ini belum ada yang matang secara komersial maka tidak dianjurkan untuk menggunakan teknologi CWM dengan bahan baku batubara peringkat rendah. Untuk teknologi CWM dengan bahan baku batubara peringkat tinggi sudah pernah digunakan di Cina secara komersial ketika harga minyak masih mahal dan batubara masih murah. Oleh karena itu dalam kajian ini digunakan teknologi CWM berbahan baku batubara peringkat tinggi.

Oleh karena itu sebagai pemegang otoritas pengawasan terhadap kegiatan usaha pertambangan. Kementerian ESDM dalam hal ini Direktorat Pembinaan Pengusahaan Batubara, perlu membuat bahan kebijakan *feedstock* batubara untuk CWM sehingga dapat diketahui jumlah cadangan batubara yang sesuai menurut kebijakan yang telah disusun untuk pengembangan teknologi CWM, serta kebijakan untuk mengamankan cadangan batubara tersebut untuk kegiatan pencairan batubara dimasa mendatang.

Untuk menghitung kebutuhan batubara untuk *feedstock* CWM maka diperlukan faktor konversi. Faktor konversi tersebut jika menggunakan bahan baku batubara kalori tinggi adalah 1 kilo liter MFO dapat disubstitusi oleh 2 liter CWM atau 1,2 kilogram batubara. Dengan konsentrasi batubara 60% dan air tawar 39,5% dengan tambahan *aditif* sebesar 0,5%.

### 3.6 Analisis Regresi Linier Untuk Data Deret Waktu (Time Series)

Regresi merupakan suatu alat ukur yang juga dapat digunakan untuk mengukur ada atau tidaknya korelasi antar variabel. Tetapi apabila kita memiliki satu variabel dan ingin mengetahui prediksi suatu variabel untuk masa waktu kedepan maka bisa menggunakan time series.

Analisis regresi linier secara time series dapat di rumuskan dalam persamaan regresi linier Y terhadap X (diganti dengan T) sebagai waktu prediksi.

Persamaan regresi linier dari Y terhadap T dirumuskan sebagai berikut:

$$y = a + bTi$$

Keterangan:

Y = variabel terikat

T = time series



$a$  = intersep

$b$  = koefisien regresi/slop

Persamaan di atas adalah rumus dari persamaan regresi linear yang pengambilan datanya menggunakan time series.  $Y$  adalah variabel tak bebas,  $a$  adalah koefisien intersep,  $b$  adalah kemiringan dan  $T$  adalah waktu prediksinya. Rumus untuk  $b$  adalah :

$$b = \frac{\sum Tiy}{\sum Ti^2}$$

Dan rumus untuk mendapatkan nilai  $a$  adalah sebagai berikut :

$$a = \bar{y}$$