

BAB I

MENGENAL BATUBARA

1.1. Sejarah Pembentukan Batubara

Di Indonesia, bahan bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi masih merupakan sumber energi utama. Kenaikan harga bahan bakar minyak bumi menyebabkan industri-industri di Indonesia beralih ke batubara sebagai sumber energi untuk produksinya.

Batubara ditemukan setelah Marco Polo salah seorang petualang dunia di abad 13 berkebangsaan Italia, pada tahun 1271 telah menjelajah di negeri China. Selanjutnya melakukan petualangnya selama 25 tahun kemudian kembali ke negerinya dengan membawa banyak cerita dan pengalaman. Salah satu kisah menarik adalah ditemukannya benda aneh yang disebut *black stone* yang dimanfaatkan orang China sebagai bahan bakar. *Black stone* sudah ratusan tahun yang silam digunakan sebagai bahan bakar. Bahan bakar secara berangsur-angsur berkurang, digeser oleh bahan bakar minyak yang dianggap lebih praktis dan efisien.

Negara-negara produsen minyak khususnya negara Timur tengah sekitar tahun 1973/1974 mengalami

gejolak politik membuat ketidakstabilan di negara tersebut. Akibatnya terjadi krisis minyak yang melanda hampir seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia. Persediaan minyak di dunia tidak dapat memenuhi kebutuhan dunia, terutama oleh negara-negara industri, menyebabkan harga minyak meningkat tidak terkendali, dan biaya produksi di industri terpaksa meningkat tinggi.

Akibatnya, pada saat itu negara-negara industri di Eropa dan Asia mulai lagi melirik sumber bahan bakar batubara dan bahkan mencari sumber-sumber energi alternatif lain seperti gas alam, panas bumi (*geothermal*), tenaga angin, tenaga nuklir, tenaga gelombang laut, tenaga matahari dan lain-lain. Secara khusus di Indonesia, penggunaan energi alternatif batubara kembali gencar setelah krisis moneter (*krismon*) melanda sekitar tahun 1996. Pilihan kembali penggunaan batubara sebagai sumber energi alternatif cukup beralasan mengingat disamping semakin terasa krisis sumber energi minyak bumi dan gas, cadangan batubara Indonesia masih cukup besar mencapai hampir 30 milyar ton yang tersebar di berbagai daerah, khususnya di Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi serta sedikit tersedia cadangan di Jawa (Aladin, 2011).

Ada banyak kantung cadangan batubara yang kecil terdapat di pulau Sumatra, Jawa, Kalimantan,

Sulawesi dan Papua, namun demikian tiga daerah dengan cadangan batubara terbesar di Indonesia adalah:

1. Sumatra Selatan
2. Kalimantan Selatan
3. Kalimantan Timur



Sumber : <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/batu-bara/item236?>

Gambar 1. 1 Persebaran Cadangan batubara di Indonesia

Industri batubara Indonesia terbagi dengan hanya sedikit produsen besar dan banyak pelaku skala kecil yang memiliki tambang batubara dan konsesi tambang batubara (terutama di Sumatra dan Kalimantan).

Ekspor batubara Indonesia berkisar antara 70 sampai 80 persen dari total produksi batubara, sisanya dijual di pasar domestik.

Tabel 1. 1 *Produksi, Ekspor, Konsumsi & Harga Batubara Tahun 2007-2019*

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Produksi (dalam juta ton)	458	461	456	461	425 ¹	400 ¹
Ekspor (dalam juta ton)	382	375	365	364	311 ¹	160 ¹
Domestik (dalam juta ton)	76	86	91	97	114 ¹	240 ¹
Harga (HBA) (USD/ton)	72.6	60.1	61.8	n.a.	n.a.	n.a.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Produksi (dalam juta ton)	217	240	254	275	353	412	474
Ekspor (dalam juta ton)	163	191	198	210	287	345	402
Domestik (dalam juta ton)	61	49	56	65	66	67	72
Harga (HBA) (USD/ton)	n.a	n.a	70.7	91.7	118.4	95.5	82.9

Sumber: Indonesian Coal Mining Association (APBI) & Ministry of Energy and Mineral Resources dalam <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/batu-bara/item236?>

1.2. Pengertian Batubara

Sukandarrumidi 1995 mengatakan bahwa batubara merupakan bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari proses penggabutan dan pembatubaraan di dalam suatu cekungan (daerah rawa) dalam jangka waktu geologis yang meliputi aktivitas bio-geokimia terhadap akumulasi flora di alam yang mengandung selulosa dan lignin. Proses pembatubaraan juga dibantu oleh factor tekanan (berhubungan dengan kedalaman), dan suhu (berhubungan dengan pengurangan kadar air dalam batubara).

Batubara dapat didefinisikan sebagai batuan sedimen yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan, pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras (Mutasim, 2010). Berikut merupakan penampakan batubara yang dapat dilihat dalam Gambar 1.2.



Sumber: <https://www.kideco.co.id/id/pengetahuan-batubara/>

Gambar 1. 2 Batubara

Menurut Irwandy 2014, batubara dikenal juga sebagai “emas” hitam. Masyarakat mengenalnya sebagai batu hitam yang bisa terbakar. Hal itu tidak salah karena tampilan dilapangan menunjukkan perbedaan kontras antara batubara dan batuan sekitarnya (Gambar 1.2). Batubara didefinisikan oleh beberapa ahli dan memiliki banyak pengertian di berbagai buku atau referensi. Di komunitas industri, definisi ini lebih spesifik lagi, yaitu batuan yang pada tingkat kualitas tertentu memiliki nilai ekonomi.

Elliot (1981) yang merupakan geokimia batubara, berpendapat bahwa batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang

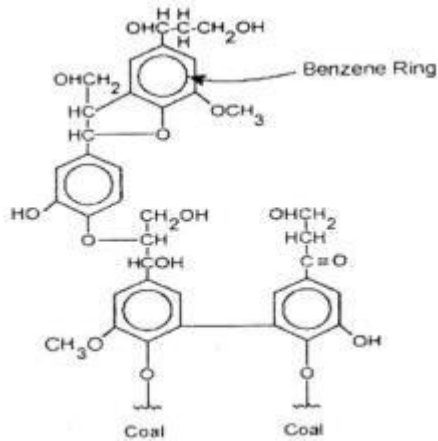
mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk ash (debu), tersebar sebagai partikel zat mineral yang terpisah di seluruh senyawa batubara. Secara ringkas, batubara bisa didefinisikan sebagai batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna cokelat tua sampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan tumbuhan secara kimia dan fisik.

Menurut Miller 2005, batubara ditemukan dalam endapan yang disebut lapisan yang berasal dari akumulasi vegetasi yang telah mengalami perubahan fisik dan kimia. Perubahan-perubahan ini termasuk pembusukan vegetasi, pengendapan dan penguburan oleh sedimentasi, pemadatan, dan transformasi sisa-sisa tanaman menjadi batuan organik yang ditemukan saat ini. Batubara memiliki karakteristik yang berbeda-beda di seluruh dunia dalam jenis bahan tanaman yang disimpan (jenis batubara), dalam tingkat metamorfisme atau batu bara (peringkat batu bara), dan dalam kisaran kotoran yang termasuk (kadar batu bara).

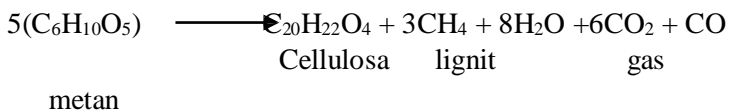
1.3. Proses Pembentukan Batubara

Menurut Sukandarrumidi 2018, batubara terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang sudah mati, dengan komposisi terdiri dari cellulose. Proses

pembentukan batubara, dikenal sebagai proses pembatubaraan atau *coalification*. Faktor fisika dan kimia yang ada di alam akan mengubah cellulose menjadi lignit, subbitumina, bitumina, atau antrasit. Reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut:



Gambar 1. 3 Rumus bangun batubara



Keterangan

- Cellulosa (senyawa organik), merupakan senyawa pembentuk batubara
- Unsur C pada lignit jumlahnya relative lebih sedikit dibandingkan jumlah unsur C pada bitumina, semakin banyak unsur C pada lignit, semakin baik kualitasnya
- Unsur H pada lignit jumlahnya relative banyak dibandingkan jumlah unsur H pada bitumina semakin banyak unsur H pada lignit, semakin rendah kualitasnya
- Senyawa gas metan (CH_4) pada lignit jumlahnya relative lebih sedikit dibandingkan dengan pada bitumina, semakin banyak CH_4 lignit semakin baik kualitasnya

Proses pembentukan batubara terdiri atas dua tahap, yaitu:

1. Tahap biokimia (penggambutan) adalah tahap ketika sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi bebas oksigen (anaeorobik) didaerah rawa dengan sistem penisiran (drainage system) yang buruk dan selalu tergenang air beberapa inci dari permukaan air rawa. Material tumbuhan yang busuk

tersebut melepaskan unsur H, N, O, dan C dalam bentuk senyawa CO₂, H₂O dan NH₃ untuk menjadi humus. Selanjutnya oleh bakteri anaerobic dan fungi, material tumbuhan itu diubah menjadi gambut. (Stach, 1982, opcit. Susilawati 1992).

2. Tahap pembatubaraan (coalification) merupakan proses diagenesis terhadap komponen organik dari gambut yang menimbulkan peningkatan temperature dan tekanan sebagai gabungan proses biokimia, kimia dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan sedimen yang menutupinya dalam kurun waktu geologi. Pada tahap tersebut, persentase karbon akan meningkat, sedangkan persentase hidrogen dan oksigen akan berkurang sehingga menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat maturitas material organiknya. (Susilawati 1992). Teori yang menerangkan terjadinya batubara yaitu :

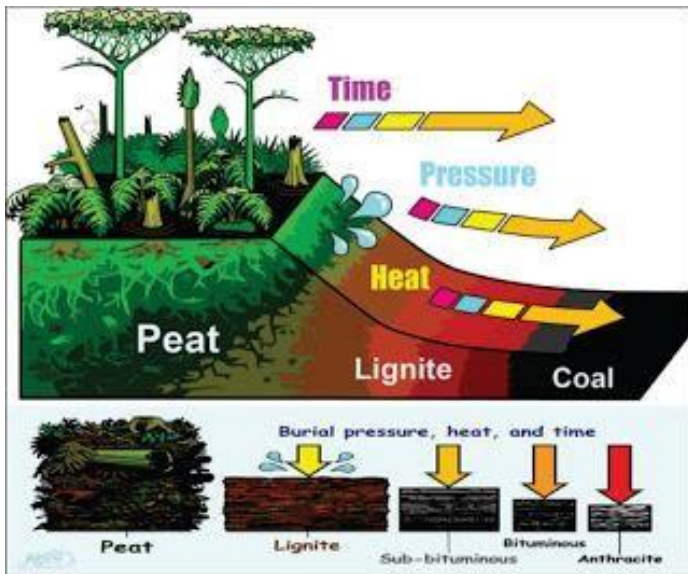
- a. Teori In-situ

Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan ditempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di hutan basah dan berawa, sehingga pohon-pohon di hutan tersebut pada saat mati dan roboh, langsung tenggelam ke dalam rawa tersebut dan sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami

pembusukan secara sempurna dan akhirnya menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik.

b. Teori Drift

Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan yang bukan ditempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di delta mempunyai ciri-ciri lapisannya yaitu tipis, tidak menerus (*splitting*), banyak lapisannya (*multiple seam*), banyak pengotor (kandungan abu cenderung tinggi). Proses pembentukan batubara dapat dilihat pada gambar 1.3.



Sumber : <https://neededthing.blogspot.com/2017/10/proses-pembentukan-batubara.html>

Gambar 1. 4 Proses Pembentukan Batubara Menjadi Jenis-jenis Batubara

1.4. Jenis-jenis Batubara

Berdasarkan kualitasnya, batubara memiliki kelas (*grade*) yang secara umum diklasifikasikan menjadi empat kelas utama menurut standar ASTM (Kirk-Othmer, 1979) atau lima kelas jika dimasukkan *peat* atau *gambut* sebagai

jenis batubara yang paling muda (Larsen, 1978). Dalam hal ini kelas batubara disertai dengan kriteria berdasarkan analisis *proximate* dan nilai kalornya, juga kriteria berdasarkan analisis *ultimate* dan kandungan sulfur total serta densitasnya. Masing- masing jenis batubara tersebut secara berurutan memiliki perbandingan C : O dan C : H yang lebih tinggi. Antrasit merupakan batubara yang paling bernilai tinggi, dan lignit, yang paling bernilai rendah.

1. Gambut/ Peat

Golongan ini sebenarnya termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Hal ini disebabkan karena masih merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).



Sumber : <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>.

Gambar 1. 5 Batubara Peat

2. Lignit

Lignit sering disebut juga *brown-coal*, golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah sehingga seringkali digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik.



Sumber :

<https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>

Gambar 1. 6 Batubara Lignit

3. Subbituminous/ Bitumen Menengah

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi. Subbituminous umum digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga uap. Subbituminous juga merupakan sumber bahan baku yang penting dalam pembuatan hidrokarbon aromatis dalam industri kimia sintetis.



Sumber :

<https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>

Gambar 1. 7 Batubara Subbituminous

4. Bituminous

Bituminous merupakan mineral padat, berwarna hitam dan kadang coklat tua, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan sering digunakan untuk kepentingan transportasi dan industri serta untuk pembangkit listrik tenaga uap.



Sumber :

<https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>

Gambar 1. 8 Batubara Bituminous

5. Antrasit

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilap tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan

untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.



Sumber :

<https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>

Gambar 1. 9 Batubara Antrasit

Semakin tinggi kualitas batubara, maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Batubara bermutu rendah, seperti *lignite* dan *sub-bituminous*, memiliki tingkat kelembaban (*moisture*) yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga energinya juga rendah. Semakin tinggi mutu batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembabannya pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga kandungan

energinya juga semakin besar. Ada 3 macam klasifikasi yang dikenal untuk dapat memperoleh beda variasi kelas / mutu dari batubara yaitu (Miller, 2005) :

1.4.1. Klasifikasi menurut ASTM

Klasifikasi ini dikembangkan di Amerika oleh Bureau of Mines yang akhirnya dikenal dengan Klasifikasi menurut ASTM D388, 2005 (*America Society for Testing and Material*). Klasifikasi ini berdasarkan rank dari batubara itu atau berdasarkan derajat metamorphism nya atau perubahan selama proses *coalifikasi* (mulai dari *lignite* hingga *antrasit*). Untuk menentukan *rank* batubara diperlukan data *fixed carbon* (dmmf), *volatile matter* (dmmf) dan nilai kalor dalam Btu/lb dengan basis mmmf (moist, mmf). Cara pengklasifikasian :

- Untuk batubara dengan kandungan VM lebih kecil dari 31% maka klasifikasi didasarkan atas FC nya, untuk ini dibagi menjadi 5 group, yaitu:
 1. FC lebih besar dari 98% disebut meta *antrasit*
 2. FC antara 92-98% disebut *antrasit*
 3. FC antara 86-92% disebut semiantrasit
 4. FC antara 78-86% disebut *low volatile*
 5. FC antara 69-78% disebut medium *volatile*
- Untuk batubara dengan kandungan VM lebih besar dari 31%, maka klasifikasi didasarkan atas nilai kalornya dengan basis mmmf

1. *group bituminous coal* yang mempunyai *moist* nilai kalor antara 14.000- 13.000 Btu/lb yaitu :
 1. *High Volatile A Bituminuos coal* (>14.000)
 2. *High Volatile B Bituminuos coal* (13.000-14.000)
 3. *High Volatile C Bituminuos coal* (<13.000)
 2. *group Sub-Bituminous coal* yang mempunyai *moist* nilai kalor antara 13.000 – 8.300 Btu/lb yaitu :
 1. *Sub-Bituminuos A coal* (11.000-13.000)
 2. *Sub-Bituminuos B coal* (9.000-11.000)
 3. *Sub-Bituminuos C coal* (8.300-9.500)
- Untuk batubara jenis lignit
 1. *group Lignite coal* dengan *moist* nilai kalor di bawah 8.300 Btu/lb yaitu:
 1. Lignit (8.300-6300)
 2. Brown Coal (<6300)

Tabel 1. 2 Spesifikasi ASTM untuk Bahan Bakar Padat

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	hvAb	<69	>31	8160
	high-volatile B	hvBb	57	57	6750 - 8160
	high-volatile C	hvCb	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

1.4.2. Klasifikasi menurut *National Coal Board* (NCB)

Klasifikasi ini dikembangkan di Eropa pada tahun 1946 oleh suatu organisasi *Fuel Research* dari *departemen of Scientific and Industrial Research* di Inggris. Klasifikasi ini berdasarkan *rank* dari batubara, dengan menggunakan parameter *volatile matter (dry, mineral matter free)* dan *cooking power* yang ditentukan oleh pengujian *Gray King*. Dengan menggunakan parameter VM saja NCB membagi batubara atas 4 macam:

1. *Volatile* dibawah 9,1%, dmmmf dengan *coal rank* 100 yaitu Antrasit
2. *Volatile* diantara 9,1-19,5%,dmmmf dengan *coal rank* 200 yaitu *Low Volatile/Steam Coal*
3. *Volatile* diantara 19,5-32%,dmmmf dengan *coal rank* 300 yaitu *Medium Volatil Coal*
4. *Volatile* lebih dari 32 %, dmmmf dengan *coal rank* 400-900 yaitu *Haig Volatile Coal*

Masing – masing pembagian di atas dibagi lagi menjadi beberapa *sub* berdasarkan *tipe coke Gray King* atau pembagian kecil lagi dari kandungan VM. Untuk *High Volatile Coal* dibagi berdasarkan sifat *caking* nya :

1. *Very strongly caking* dengan *rank code* 400
2. *Strongly caking* dengan *rank code* 500
3. *Medium caking* dengan *rank code* 600
4. *Weakly caking* dengan *rank code* 700
5. *Very weakly caking* dengan *rank code* 800
6. *Non caking* dengan *ring code* 900

1.4.3. Klasifikasi menurut International

Klasifikasi ini dikembangkan oleh *Economic Commision for Europe* pada tahun 1956. Klasifikasi ini dibagi atas dua bagian yaitu :

- *Hard Coal*

Di definisikan untuk batubara dengan *gross calorific value* lebih besar dari 10.260 Btu/lb atau 5.700 kcal/kg (*moist, ash free*). *International System* dari *hard coal* dibagi atas 10 kelas menurut kandungan VM (*daf*). Kelas 0 sampai 5 mempunyai kandungan VM lebih kecil dari 33% dan kelas 6 sampai 9 dibedakan *atyas* nilai kalornya (*mmaf*) dengan kandungan VM lebih dari 33%. Masing-masing kelas dibagi atas 4 group (0-3) menurut sifat *crackingnya* ditentukan dari “*Free Swelling Index*” dan “*Roga Index*”. Masing group ini dibagi lagi atas *sub group* berdasarkan *tipe* dari *coke* yang diperoleh pengujian *Gray King* dan *Audibert-Arnu dilatometer test*. Jadi pada *International klasifikasi* ini akan terdapat 3 angka, angka pertama menunjukkan kelas, angka kedua menunjukkan group dan angka ketiga menunjukkan *sub-group*. Sifat *caking* dan *coking* dari batubara dibedakan atas kelakuan serbuk batubara bila dipanaskan. Bila laju kenaikan *temperature relative* lebih cepat menunjukkan sifat *caking*. Sedangkan sifat *coking* ditunjukkan apabila laju kenaikan *temperature* lambat.

- *Brown Coal*
International klasifikasi dari *Brown coal* dan *lignite* dibagi atas parameternya yaitu total *moisture* dan *low temperature Tar Yield* (*daf*). Pada klasifikasi ini

batubara dibagi atas 6 kelas berdasarkan total *moisture (ash free)* yaitu :

1. Nomor kelas 10 dengan total *moisture* lebih dari 20%, *ash free*
2. Nomor kelas 11 dengan total *moisture* 20-30%, *ash free*
3. Nomor kelas 12 dengan total *moisture* 30-40%, *ash free*
4. Nomor kelas 13 dengan total *moisture* 40-50%, *ash free*
5. Nomor kelas 14 dengan total *moisture* 50-60%, *ash free*
6. Nomor kelas 15 dengan total *moisture* 60-70%, *ash free*

Kelas ini dibagi lagi atas group dalam 4 group yaitu:

1. *No group 00 tar yield* lebih rendah dari 10% *daf*
2. *No group 10 tar yield* antara 10-15 % *daf*
3. *No group 20 tar yield* antara 15-20 % *daf*
4. *No group 30 tar yield* antara 20-25 % *daf*
5. *No group 40 tar yield* lebih dari 25% *daf*

Tabel 1. 3 Jenis Batubara Berdasar Nilai Kalor

	Penggunaan	Nyala (menit)	Nilai kalori (kal/gr)
1	Antrasit	5-10	7.222 - 7.778
2	Semi antrasit	9-10	5.100 - 7.237
3	Bituminous	10-15	4.444 - 6.111
4	Sub-bituminus	10-20	4.444 - 8.333
5	Lignit	15-20	3.056 - 4.611

Sumber : achmadinblog.wordpress.com

BAB II

KANDUNGAN BATUBARA

Unsur kimia dalam batubara dibagi menjadi 2, yaitu unsur organik yang terdiri dari karbon (C) (sebagai aromatik/alifatik), Hidrogen (H) (terdapat dalam gugus metil (-CH₃), dan gugus metilena (CH₂-)), oksigen (O) (terdapat dalam gugus hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), karbonil (=C=O), dan eter (-O-)), Nitrogen (N), Sulfur (S) (terdapat dalam gugus thiolik (R-SH), dan gugus alifatik sulfida (R-S-R)), dan Phosphor (P) (Sukandarrumidi, 2009; Kirk-Othmer, 2001). Sedangkan unsur anorganik berupa logam yang berasal dari pengotor seperti Silika (Si), Aluminium (Al), Besi (Fe), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg) (Ullmann's et al., 1999); Anggara S., dan Guntoro, 2017).

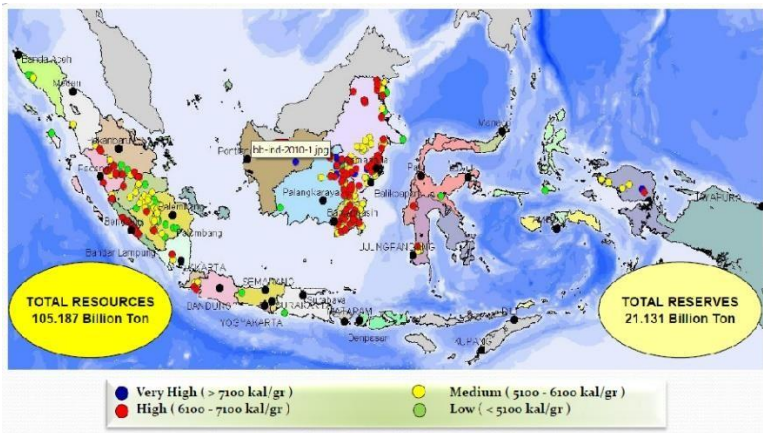
Batubara banyak diaplikasikan sebagai bahan bakar untuk unit PLTU (14%), bahan bakar furnace untuk pemanas air, bahan bakar untuk proses pencairan logam (11%), bahan bakar dalam pengoperasian tanur putar/kiln dalam pabrik semen (8%) serta pabrik kertas (1%), dan sekarang hadir dengan sedikit inovasi seperti batubara briket (serbuk batubara yang dipadatkan), dan CWM (Coal-Water Mixture) atau batubara cair yang merupakan campuran antara pulverized coal peringkat rendah dengan minyak (Bambang, S., 2007).

2.1. Kualitas Batubara

Batubara merupakan bahan mineral yang heterogen baik secara kimia maupun fisika, yang tersusun dari unsur utama karbon, hydrogen, oksigen, sedikit kandungan sulfur dan nitrogen. Tingkat pembatubaraan secara umum dapat dihubungkan dengan mutu atau kualitas batubara. Kualitas batubara dilihat dari semakin tingginya tingkat pembatubaraan maka kadar karbon akan meningkat sedangkan kadar hydrogen, oksigen, dan sulfur akan berkurang. Karbon pada batubara membentuk lebih dari 50% berat dan 70% volume (termasuk *moisture*). *Moisture* yang dimaksud adalah air yang terperangkap diantara partikel-partikel batubara. Batubara dengan tingkat pembatubaraan yang rendah, disebut juga batubara peringkat rendah, seperti lignit dan sub-bituminus biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah, memiliki *moisture* yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga memiliki kandungan energi yang rendah. Semakin tinggi peringkat batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembaban batubara pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga memiliki kandungan energy yang juga semakin besar.

Di Indonesia sendiri batubara banyak sekali yang tersebar dimana batubara tersebut berjenis *low caloric* -

high caloric. Penyebaran batubara ini dikarenakan Indonesia banyak terbentuk cekungan sedimen akibat aktifnya pergerakan lempeng yang diakibatkan pergerakan lempeng *Eurasia* dari utara ke selatan dan pergerakan lempeng *Indo-Australia* dari selatan ke utara.



Sumber : Badan Geologi KESDM, 2010 dalam <http://geonaturalresource.blogspot.com/2015/10/jenis-batubara-indonesia-berdasarkan.html>

Gambar 2. 1 Peta Sebaran Kualitas Batubara di Indonesia

2.1.1. Ukuran (*Coal Size*)

Dalam pengelompokan ukuran butir batubara dibatasi pada rentang butir halus (*pulverized coal* atau *dust coal*)

dan butir kasar (*limp coal*). Pada kelompok ukuran butir paling halus berada pada ukuran maksimum 3 milimeter, sedangkan untuk kelompok ukuran butir paling kasar sampai dengan ukuran 50 milimeter. Butir paling halus dibatasi oleh *dustness* dan tingkat kemudahan diterbangkan angin sehingga dapat mengotori lingkungan. Tingkat *dustness* dan kemudahan diterbangkan masih ditentukan pula oleh kandungan *moisture* batubara. Ukuran partikel batubara pada umumnya menggunakan satuan mesh.

2.1.2. Hardgrove Grindability Index (HGI)

Merupakan parameter untuk mengindikasikan tingkat kekerasan dalam batubara yang nantinya berpengaruh terhadap proses size reduction. Semakin kecil nilai HGI, mengindikasikan batubara tersebut semakin keras. HGI merupakan suatu bilangan yang dapat menunjukkan mengenai mudah sukarnya batubara digerus. Harga dari HGI diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$\text{HGI} = 13,6 + 6,93 W$$

W merupakan berat dalam gram dari batubara lembut berukuran 200 mesh. Penggolongan kekerasan batubara berdasarkan nilai HGI yaitu :

- $\text{HGI} > 70$ = *soft* (lunak)
- $\text{HGI} 50 - 70$ = *medium soft* (agak lunak)

- HGI 30 – 50 = *hard* (keras)

Rata-rata nilai HGI batubara Indonesia adalah berkisar 35-60.

2.1.3. Kandungan *Moisture*

Kandungan *moisture* pada batubara dapat mempengaruhi kegiatan pembatubaraan mulai dari eksplorasi, penanganan, penyimpanan, penggilingan hingga pembakaran. Berikut ini pengaruh *moisture* pada batubara, yaitu :

- a. Kandungan *moisture* tinggi dapat meningkatkan biaya transportasi, penanganan, dan peralatan.
- b. Semakin tinggi air di permukaan batubara akan semakin rendah daya gerus *grinding mill* yang menggerusnya.
- c. Kandungan *moisture* akan mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer. Batubara dengan kandungan *moisture* tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak untuk mengeringkan batubara tersebut pada suhu keluar *mill* tetap.

Kandungan *moisture* pada batubara bukan seluruh air yang terdapat di dalam batubara baik besar maupun kecil dan yang terbentuk dari penguraian batubara selama pemanasan. Namun air pada batubara dapat ditemukan di

dalam batubara maupun terurai dari batubara apabila dipanaskan sampai kondisi tertentu akibat terjadinya oksidasi.

Menurut pendapat Deevi dan Suuberg 1993, *moisture* dalam batubara berada dalam beberapa bentuk berbeda yaitu air bebas di permukaan; air yang terkondensasi di kapiler; air yang terserap, air yang terikat dengan gugus polar kation; dan air yang timbul akibat dekomposisi kimia baik material organik maupun inorganik.

2.1.4. Zat Terbang (*Volatile Matter* atau VM, satuan persen)

Volatile Matter (VM) merupakan zat aktif yang menghasilkan energi panas apabila batubara tersebut dibakar. Umumnya terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti Hidrogen, Karbon Monoksida (CO) dan Metan (CH₄). *Volatile Matter* sangat erat kaitannya dengan rank batubara, makin tinggi kandungan VM makin rendah kelasnya. Dalam pembakaran batubara dengan VM tinggi akan mempercepat pembakaran karbon tetap (*Fixed Carbon/FC*) dan intensitas nyala api. Sebaliknya bila VM rendah mempersulit proses pembakaran.

Kesempurnaan pembakaran ditentukan oleh :

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Fixed Carbon}}{\text{Volatile Matter}}$$

Dengan semakin tingginya nilai *fuel ratio*, maka jumlah karbon yang tidak terbakar dalam batubara juga semakin

banyak. Apabila perbandingan tersebut nilainya lebih dari 1,2 maka pengapiannya akan kurang bagus. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan pembakaran akan menurun. Nisbah kandungan karbon (*fixed carbon*) terhadap kandungan zat terbang (*fuel ratio*) dari berbagai jenis batubara dapat dilihat dalam Tabel berikut :

Tabel 2. 1 Fuel Ratio Berbagai Jenis Batubara (Sukandarrumidi, 1995)

Jenis Batubara	<i>Fuel Ratio</i>
1. <i>Coke</i>	92
2. Antrasit	24
3. Semi antrasit	8,6
4. Bitumen	
• <i>Low volatile</i>	2,8
• <i>Medium volatile</i>	1,9
• <i>High volatile</i>	1,3
5. Lignit	0,9

Zat Terbang (*Volatile Matter* atau VM) merupakan kuantitas sejumlah senyawa-senyawa yang mudah menguap. Senyawa *volatile* ini berperan sebagai pematik proses terbakarnya batubara. Semakin sedikitnya senyawa *volatile* pada batubara, maka akan semakin sulit batubara terbakar meskipun batubara tersebut memiliki *fixed carbon* yang besar.

2.1.5. Karbon Tetap (*Fixed Carbon/FC*)

Fixed Carbon merupakan kandungan utama dari batubara. Hal tersebut dikarenakan kandungan *fixed carbon* paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Kandungan *fixed carbon* yang semakin banyak, maka akan memperbesar *heating value*-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar *moisture* (kelembaban), kadar abu, dan jumlah zat terbang. Nilai kadar karbon semakin bertambah seiring dengan tingkat pembatubaraan. Nilai kadar karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu berupa nilai *fuel ratio*.

Kadar Karbon Tetap (FC) adalah karbon yang terdapat dalam batubara yang berupa zat padat/ karbon yang tertinggal sesudah penentuan nilai zat terbang (VM). Melalui pengeluaran zat terbang dan kadar air, maka karbon tertambat secara otomatis sehingga akan naik. Dengan begitu makin tinggi nilai karbonnya, maka peringkat batubara meningkat.

2.1.6. Nilai Kalor (*Calorific Value/ CV*)

Nilai Kalor (CV) adalah penjumlahan dari harga-harga panas pembakaran unsur-unsur pembentuk batubara. Nilai kalor sangat berpengaruh terhadap pengoperasian *pulverizer/ mill* pipa batubara, dan *windbox*, serta *burner*.

Nilai CV yang semakin tinggi maka aliran batubara setiap jam-nya semakin rendah sehingga kecepatan *coal feeder* harus disesuaikan. Sedangkan batubara dengan kadar kelembaban dan tingkat ketergerusan yang sama, maka dengan CV yang tinggi menyebabkan *pulverizer* akan beroperasi di bawah kapasitas normalnya atau dengan kata lain *operating ratio*-nya menjadi lebih rendah.

2.1.7. Kadar Abu (*Ash Content*, satuan persen)

Komposisi batubara bersifat heterogen yang terdiri dari zat organik (lignin-selulosa-humus) maupun anorganik (besi, silika, alluminium, magnesium, dll) yang bercampur dengan batuan sedimen lain disekitarnya selama proses pembatubaraan berlangsung. Bila dibakar, senyawa anorganik diubah menjadi senyawa oksida dalam bentuk abu.

Abu merupakan komponen yang terkandung pada batubara yang tidak dapat terbakar. Pada umumnya abu ini berupa mineral yang berasal dari dalam tanah. Kandungan abu akan terbawa bersama gas pembakaran melalui ruang bakar dan daerah konversi dalam bentuk abu terbang (*fly ash*) yang jumlahnya mencapai 80% dan abu dasar sebanyak 20%. Kadar abu ini sangat berpengaruh terhadap tingkat pencemaran udara serta mengakibatkan terjadinya hujan asam (kontak abu yang mengandung SO_2 dengan air hujan) yang menyebabkan korosif pada peralatan

(Sukandarrumidi, 2005). Senyawa abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara tersebut antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O , dan SO_3 , yang dimana kadar abu batubara di Indonesia adalah sekitar 15-20%. Kadar abu untuk lignite, bitumin atau sub-bitumin ditampilkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Komposisi abu dalam batubara

Komponen	Kelas Batubara		
Kimia	Lignite	Bituminous	Sub - bituminous
SiO_2	15-45%	20-60%	40-60%
Al_2O_3	10-25%	5-35%	20-30%
Fe_2O_3	4-15%	10-40%	4-10%
CaO	15-40%	1-12%	5-30%
MgO	3-10%	0.1-5%	1-6%
SO_3	0.1-10%	0.1-4%	0.1-2%
Na_2O	0.1-6%	0.1-4%	0.1-2%
K_2O	0.1-4%	0.1-3%	0.1-4%

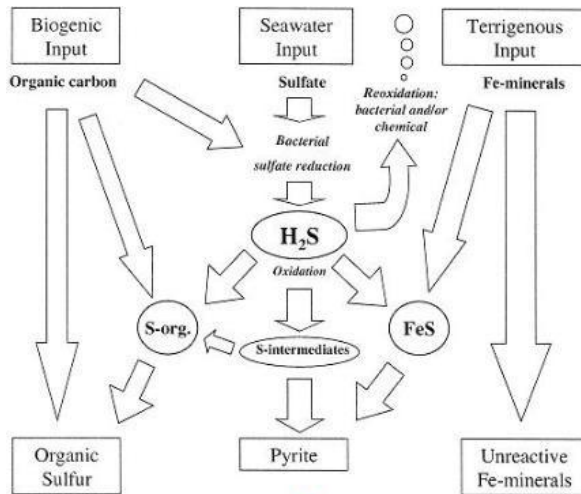
Sumber: ASTM C618 – 92a (1994) (Adopsi dari Sukandarrumidi, 2005)

2.1.8. Kadar Sulfur

Sulfur adalah salah satu komponen dalam batubara, yang terdapat sebagai sulfur organik maupun anorganik.

Umumnya komponen sulfur dalam batubara terdapat sebagai sulfur *syngenetik* yang erat hubungannya dengan proses fisika dan kimia selama proses penggabungan (Meyers, 1982) dan dapat juga sebagai sulfur *epygenetik* yang dapat diamati sebagai pirit pengisi *cleat* pada batubara akibat proses *presipitasi* kimia pada akhir proses pembatubaraan (Mackowsky, 1968).

Berikut adalah skema yang menunjukkan urutan proses pembentukan sulfur dalam batubara dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Pembentukan sulfur dalam batubara (Suits dan Arthur, 2000)

Sulfur yang terdapat dalam batubara terbagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Sulfur Pirit

Pirit dan markasit merupakan mineral sulfida yang paling umum dijumpai pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama (FeS_2) tetapi berbeda pada sistem kristalnya. Pirit berbentuk *isometric* sedangkan Markasit berbentuk *orthorombik* (Taylor G.H, et.al., 1998). Pirit (FeS_2) merupakan mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur pirit (Mackowsky, 1943 dalam Organic Petrology, 1998). Berdasarkan genesanya, pirit pada batubara dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Pirit *Syngenetik*, yaitu pirit yang terbentuk selama proses penggabutan (*peatification*). Pirit jenis ini biasanya berbentuk *framboidal* dengan butiran sangat halus dan tersebar dalam material pembentuk batubara (Demchuk, 1992).

- b. Pirit *Epygenetik*, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pematubaraan. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar, rekahan dan cleat pada batubara serta biasanya bersifat masif (Mackowsky, 1968; Gluskoter, 1977; Frankie and Howe, 1987).

2. Sulfur Organik

Sulfur organik merupakan suatu elemen pada struktur makromolekul dalam batubara yang kehadirannya secara parsial dikondisikan oleh kandungan dari elemen yang berasal dari material tumbuhan asal. Dalam kondisi geokimia dan mikrobiologis spesifik, sulfur inorganik dapat berubah menjadi sulfur organik. Sulfur organik dapat terakumulasi dari sejumlah material organik oleh proses penghancuran biokimia dan oksidasi. Namun secara umum, penghancuran biokimia merupakan proses yang paling penting dalam pembentukan sulfur organik, yang pembentukannya berjalan lebih lambat pada lingkungan yang basah atau jenuh air (A.C. Cook, 1982).

Sulfur yang bukan berasal dari material pembentuk batubara diduga mendominasi dalam menentukan kandungan sulfur total. Sulfur inorganik yang biasanya melimpah dalam lingkungan marin atau

payau kemungkinan besar akan berubah membentuk hidrogen sulfida dan senyawa sulfat dalam kondisi dan proses geokimia. Reaksi yang terjadi adalah reduksi sulfat oleh material organik menjadi hidrogen sulfida (H_2S). Reaksi reduksi ini dipicu oleh adanya bakteri *desulfovibrio* dan *desulfotomaculum* (Meyers, 1982).

3. Sulfur Sulfat

Kandungan sulfur sulfat biasanya rendah sekali atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi akan menjadi sulfat (Meyers, 1982).

Pada umumnya kandungan sulfur organik lebih tinggi pada bagian bawah lapisan, sedangkan kandungan sulfur piritik dan sulfat akan tinggi pada bagian atas dan bagian bawah lapisan batubara.

Kadar S dalam batubara bervariasi, mulai dari jumlah yang sangat kecil hingga lebih dari 4% (Nukman dkk., 2006). Unsur S mudah bereaksi dengan unsur H atau O membentuk senyawa asam ($pH < 5$), yang dimana senyawa asam tersebut merupakan pemicu polusi. Sulfur anorganik dalam batubara dapat dikurangi dengan proses pencucian (Speight et al., 2005), yang dimana terbentuk dari reaksi reduksi sulfur primer oleh bakteri *desulfovibrio*/*desulfotomaculum* dan air tanah yang

mengandung ion Fe^{2+} . Sulfur organik berikatan dengan senyawa hidrokarbon di batubara, yang terbentuk dari reduksi sulfat oleh material organik dibantu dengan bakteri menjadi hidrogen sulfida (H_2S) pada lingkungan kering dan minim kandungan Fe, sehingga tidak dapat dikurangi dengan proses pembersihan. Sedangkan sulfur sulfat biasa dijumpai dalam bentuk sulfat besi, sulfat barium dan sulfat kalsium dan tidak terlibat dalam pembentukan SOX (oksida sulfur) (Sukandarrumidi, 2005). Menurut Casagrandre (1987), kandungan S terbesar terdapat pada bagian ujung-ujung lapisan batubara serta kandungan S terkecil ($< 1\%$) didominasi oleh sulfur organik. Jika dibakar akan menghasilkan gas SO_2 , bila teremisi di udara akan teroksidasi menjadi SO_3 . Apabila SO_3 berkontak dengan uap air, maka akan membentuk kabut asam yang akhirnya menjadi hujan asam yang dapat menyebabkan korosi pada alat yang berkontak dengan cairan asam tersebut.

2.1.9. Titik Leleh Abu Batubara (*Ash Fusion Temperature, AFT*)

Ash fusion temperature (AFT) merupakan titik leleh abu batubara. Abu batubara biasanya akan meleleh pada saat harga AFT-nya lebih rendah dari temperatur *boiler* tepatnya *furnace exit gas temperature* (FEGT) yang ditetapkan. Akibatnya, abu batubara berpotensi membentuk *slagging* yang menyebabkan penurunan

efisiensi *boiler*. Penurunan ini menyebabkan kerugian yang cukup besar bagi industri. Oleh karena itu, dibutuhkan nilai AFT batubara yang tinggi melebihi temperatur FEGT. Pengukuran temperatur leleh abu dilakukan dengan memanaskan abu batubara yang dibentuk kerucut di dalam suatu tungku. Temperatur pelelehan abu ini dibagi ke dalam empat kategori, yaitu:

1. Temperatur deformasi awal
(*initial temperatur, IT*)
Temperatur dimana pembulatan pada ujung kerucut terjadi.
2. Temperatur pelunakan (*softening temperatur, ST*) Temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bulat dengan ketinggian sama dengan lebarnya.
3. Temperatur hemispherical (HT)

Temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bentuk hemispherical dengan ketinggian menjadi setengah lebar dasarnya.

4. Temperatur Fluida (FT)

Temperatur dimana seluruh abu telah meleleh dengan ketinggian maksimal 1/16 inci.