

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Batubara

Batubara merupakan padatan heterogen yang berasal dari timbunan fosil tumbuh-tumbuhan yang mengalami proses metamorfosis selama jutaan tahun. Variasi kondisi yang dialami oleh batubara menyebabkan kompleksitas pada komponen penyusun maupun sifat batubara. Seperti umumnya bahan-bahan yang terdapat di alam, batubara tidak pernah terdapat dalam keadaan murni tetapi selalu tercampuri bahan-bahan atau senyawa-senyawa lain seperti mineral, senyawa nitrogen, senyawa-senyawa oksigen atau senyawa-senyawa pengotor yang mengandung sulfur (Sodikin, 2010).

Batubara merupakan senyawa yang mempunyai berat molekul tinggi dan mempunyai struktur senyawa yang sangat kompleks. Sebagian besar substansi penyusun batubara merupakan senyawa organik. Selain itu terdapat pula sejumlah senyawa anorganik dalam bentuk senyawa makromolekul kompleks yang tersusun atas sub-sub unit molekul. Sub unit tersebut merupakan gabungan beberapa cincin aromatik, karbon siklik dan hetero atom, misalnya oksigen terutama dalam bentuk hidroksil (OH), gugus karbonil (C=O), gugus karboksil (-COOH), dan eter (R-O-R). Sebagian besar sulfur terdapat dalam bentuk gugus thiol (-SH) dan gugus ester (R-COOR'). Nitrogen umumnya sebagai gugus amina (-NH₂), gugus amida, pirrol dan piridin. Hidrogen umumnya terdapat dalam bentuk senyawa alifatik dan siklik. Batubara secara mikroskopik tersusun dari sejumlah komponen organik yang berlainan karakteristik nya yang disebut maseral. Selain itu ditemukan pula komponen anorganik yang disebut mineral. Maseral tersusun dari organ atau jaringan tanaman asal selama penimbunan sampai tahap permulaan penghancuran secara biokimia dan tahap permulaan pematangan pada pembentukan batubara. Umumnya maseral setelah terbentuk mengalami perubahan fisik dan kimia dengan kenaikan peringkat batubara.

2.1.1 Proses Pembentukan Batubara

Batubara yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi proses terbentuknya batubara tersebut. Faktor-faktor tersebut antara lain:

A. Posisi Geotektonik

Posisi geotektonik yang dapat mempengaruhi proses pembentukan suatu lapisan batubara dari :

1. Tekanan yang dihasilkan oleh proses geotektonik dan menekan lapisan batubara yang terbentuk.
2. Struktur dari lapisan batubara tersebut, yakni bentuk cekungan stabil, lipatan, atau patahan.
3. Intrusi magma, yang akan mempengaruhi dan/atau merubah grade dari lapisan batubara yang dihasilkan.

B. Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan merupakan lingkungan saat proses sedimentasi dari material dasar menjadi material sedimen. Lingkungan pengendapan ini sendiri dapat ditinjau dari beberapa aspek sebagai berikut:

1. Struktur cekungan batubara, yakni posisi di mana material dasar diendapkan. Strukturnya cekungan batubara ini sangat berpengaruh pada kondisi dan posisi geotektonik.
2. Topografi dan morfologi, yakni bentuk dan kenampakan dari tempat cekungan pengendapan material dasar. Topografi dan morfologi cekungan pada saat pengendapan sangat penting karena menentukan penyebaran rawa-rawa di mana batubara terbentuk. Topografi dan morfologi dapat dipengaruhi oleh proses geotektonik.
3. Iklim, yang merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pembentukan batubara karena dapat mengontrol pertumbuhan flora atau tumbuhan sebelum proses pengendapan. Iklim biasanya dipengaruhi oleh kondisi topografi setempat.

Lingkungan pengendapan batubara ditinjau dari segi tempat terbentuknya batubara, terdapat dua macam teori yang menjelaskan tempat terbentuknya batubara:

A. Teori Insitu

Teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuk ditempat dimana tumbuh-tumbuhan asal itu berada. Dengan demikian, setelah tumbuhan mati, belum mengalami proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses coalification.

B. Teori Drift

Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadi ditempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan berkembang. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan berakumulasi di suatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses coalification.

C. Umur Geologi

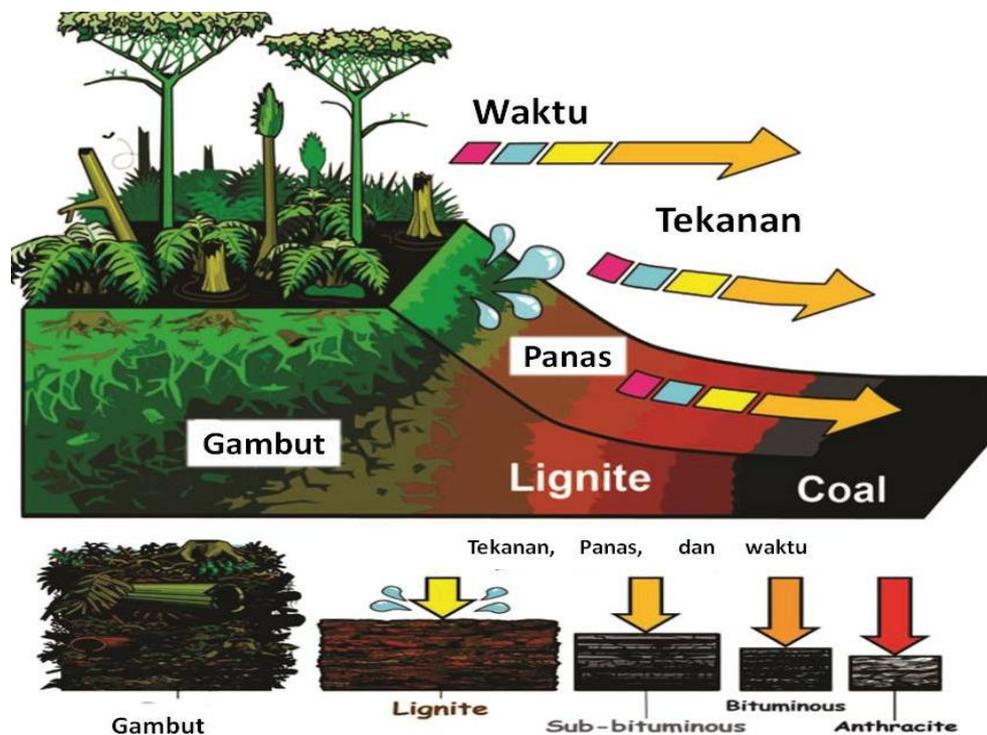
Umur geologi merupakan skala waktu (dalam jutaan tahun) yang menyatakan berapa lama material dasar yang diendapkan mengalami transformasi. Untuk material yang diendapkan dalam skala waktu geologi yang panjang, maka proses dekomposisi yang terjadi adalah fase lanjut dan menghasilkan batubara dengan kandungan karbon yang tinggi.

D. Evolusi Perkembangan Flora

Flora atau tumbuhan yang tumbuh beberapa juta tahun yang lalu, yang kemudian terakumulasi pada suatu lingkungan dan zona fisiografi dengan iklim dan topografi tertentu. Jenis dari flora sendiri amat sangat berpengaruh terhadap tipe dari batubara yang terbentuk.

E. Dekomposisi

Dekomposisi merupakan proses transformasi biokimia dari material dasar pembentuk batubara menjadi batubara. Dalam proses ini, sisa tumbuhan yang terendapkan akan mengalami perubahan baik secara fisika maupun kimia. Faktor tumbuhan purba yang jenisnya berbeda-beda sesuai dengan zaman geologi dan lokasi tempat tumbuh dan berkembangnya, ditambah dengan lokasi pengendapan (sedimentasi) tumbuhan, pengaruh tekanan batuan dan panas bumi serta perubahan geologi yang berlangsung inilah yang telah menyebabkan terbentuknya batubara yang jenisnya bermacam-macam. Oleh karena itu, karakteristik batubara yang berbeda-beda sesuai dengan lapangan batubara (coal field) dan lapisannya (coal seam) dipengaruhi oleh faktor-faktor pembentuk batubara tersebut.



Gambar 2.1 Proses Pembentukan Batubara

Sumber: google.com

Dalam proses pembentukan batubara, terdapat 2 proses utama yang berperan, yaitu proses pengambutan (*peatification*) dan pembatubaraan (*coalification*).

A. Penggambutan (*Peatification*)

Gambut adalah sedimen organik yang dapat terbakar, berasal dari tumpukan hancuran atau bagian dari tumbuhan yang terhumifikasi dan dalam kondisi tertutup udara (dibawah air), tidak padat, memiliki kandungan air lebih dari 75% (berat) dan kandungan mineral lebih kecil dari 50% dalam kondisi kering (Anggayana, 2000).

Proses penggambutan ini merupakan tahap paling awal dari proses pembentukan batubara, meliputi proses mikrobial dan perubahan kimia (biochemical). Faktor yang sangat penting dalam proses ini adalah keberadaan air dan mikro-organisme (bakteri). Tumbuhan tersusun dari berbagai unsur, yaitu C, H, O dan N. Setelah tumbuhan mati, terjadi proses degradasi biokimia. Tumbuhan akan mengalami pembusukan, yang kemudian diuraikan oleh mikro-organisme, memotong ikatan kimia sehingga menjadi humus. Dalam keadaan melimpahnya oksigen dan jumlah bakteri yang banyak, terjadi proses biokimia dimana semua unsur tumbuhan akan terubah yang berakibat lepasnya H, O, dan N dalam bentuk air dan NH_3 , sebagian unsur C dalam bentuk gas CO_2 , CO dan metan (CH_4). Akan tetapi jika tumbuhan tertutup air atau terendam dengan cepat maka akan terhindar dari proses pembusukan, perubahan unsur pada tumbuhan tidak sempurna seluruhnya, sisa tumbuhan akan bertumpuk dan bereaksi menghasilkan gambut. Pada tahap selanjutnya, proses penggambutan akan diikuti oleh proses pematubaraan, meliputi proses geologi dan perubahan kimia (*geochemical*). Pada tahap ini bakteri tidak ikut berperan.

B. Pematubaraan (*Coalification*)

Tahap pematubaraan (*coalification*) merupakan gabungan proses biologi, kimia, dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan, dan waktu terhadap komponen organik dari gambut. Selama proses perubahan gambut menjadi lignit, terjadi proses kenaikan temperatur dan penurunan porositas. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan kandungan airnya (*moisture content*) yang cepat. Kenaikan temperatur dan penurunan porositas ini diakibatkan oleh kompaksi yang dihubungkan dengan peningkatan tekanan *overburden* (pembebanan sedimen-sedimen di atasnya) dalam

kurun waktu tertentu. Seiring peningkatan temperatur dan tekanan dalam waktu geologi, yang diantaranya disebabkan oleh adanya gradien geothermal dan tekanan *overburden*, *brown coal* akan berubah menjadi batubara sub-bituminus dan bituminus. Selama proses pembatubaraan ini, persentase karbon (C) meningkat karena unsur H, O dan N didalamnya akan terlepas sebagai gas O₂, H₂ dan N₂. Proses akhir pembatubaraan adalah terbentuknya batubara antrasit yang dicirikan oleh penurunan unsur H secara cepat.

2.1.2 Klasifikasi Batubara

Ada 4 (empat) macam klasifikasi yang dikenal untuk dapat memperoleh beda variasi kelas/mutu dari batubara yaitu :

1. Klasifikasi menurut ASTM
2. Klasifikasi menurut *National Coal Board*
3. Klasifikasi menurut International
4. Klasifikasi menurut Australia

Keempat macam klasifikasi ini didasarkan atas analisa proksimatnya, atau disebut klasifikasi berdasarkan rank yaitu berdasarkan perbedaan yang terjadi pada proses dinamo kimia. Klasifikasi yang lain di dasarkan tipe dari batubara yaitu berdasarkan macam dari tumbuhan asalnya, perbedaan terjadinya pada proses biokimia, klasifikasi yang lain lagi yaitu berdasarkan grade batubara tersebut yaitu klasifikasi yang ditentukan oleh jumlah mineral impuritisnya.

A. Klasifikasi Menurut ASTM (1972)

Klasifikasi ini dikembangkan di Amerika oleh *Bureau of Mines* yang akhirnya dikenal sebagai klasifikasi menurut ASTM (*Amerika Society for Testing and Material*). Klasifikasi ini berdasarkan rank dari batubara itu atau berdasarkan derajat metamorphism-nya atau perubahan selama proses *coalifikasi* (mulai dari lignit hingga antrasit). ASTM mengklasifikasikan batubara berdasarkan peringkat pembentukan batubara mulai dari lignit sampai antrasit. Batubara yang mempunyai kadar fixed carbon diatas 69% dmmf diklasifikasikan hight volatile A bituminus coal sampai dengan meta antrasit, sedangkan bila kadar karbon tetap

nya kurang dari 69% diklasifikasikan berdasarkan nilai kalor pada satuan BTU per pound dan diklasifikasikan dari lignit sampai high volatile B bituminous coal.

Sebagai rujukan, rentang prosentase karbon tetap, prosentase zat terbang dan nilai kalor untuk berbagai peringkat batubara disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Peringkat Batubara Menurut ASTM

Kelas	Group	Batas karbon tetap (% dmmf)		Batas kandungan zat terbang (% dmmf)		Batas nilai kalor (Btu/lb, mmmf)	
		Sama atau lebih dari	Lebih kecil	Sama atau lebih kecil dari	Lebih besar	Sama atau lebih dari	Lebih kecil
Antrasit	1. Meta-Antrasit	98	-	2	-	-	-
	2. Antrasit	92	98	8	2	-	-
	3. Semi Antrasit	86	92	14	8	-	-
Bituminus	1. Low Volatile	78	86	22	14	-	-
	2. Medium Volatile	69	78	31	22	-	-
	3. High Volatile A	-	69	-	31	14.000	-
	4. High Volatile B	-	-	-	-	13.000	14.000
	5. High Volatile C	-	-	-	-	11.500	13.000
	Sub-Bituminus	1. Sub-Bituminus A	-	-	-	-	10.500
	2. Sub-Bituminus B	-	-	-	-	9.500	10.500
	3. Sub-Bituminus C	-	-	-	-	8.300	9.500
Lignit	1. Lignit A	-	-	-	-	6.300	8.300
	2. Lignit B	-	-	-	-	-	6.300

Sumber : ASTM D 388-91a

Dalam penentuan peringkat batubara dengan metoda ASTM, digunakan basis "dmmf" (*dry mineral matter free*), sementara semua analisisnya dalam basis "adb" (*air dried basis*), sehingga dalam menentukan peringkat batubara digunakan rumus konversi dari "adb" kedalam "dmmf". Konversi berdasarkan rumus parr (ASTM, 1997) adalah sebagai berikut :

$$FC_{dmmf} = \frac{FC_{adb} - 0,15S_{adb}}{100 - (IM_{adb} + 1,08A_{adb} + 0,55S_{adb})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

$$VM_{dmmf} = 100 - FC_{dmmf} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$CV_{mmf} = \frac{(CV_{adb} \times 1,8) - 50S_{adb}}{100 - (1,08A_{adb} - 0,55S_{adb})} \times 100 \text{ BTU/lb} \dots\dots\dots(2.3)$$

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

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

Tabel 2.2. Pembagian NCB Menurut Parameter VM

Volatile Matter (% , dmmf)	Coal Rank Code	Nama Batubara
Dibawah 9,1	100	<i>Antrasit</i>
9,1 – 19,5	200	<i>Low Volatile Steam Coal</i>
19,5 – 32	300	<i>Medium Volatile Coal</i>
Lebih dari 32	400 - 900	<i>High Volatile Coal</i>

Sumber: Annual Book NCB Standard

Masing-masing pembagian di atas dibagi lagi menjadi beberapa sub berdasarkan tipe *coke Gray King* dan atau pembagian kecil lagi dari kandungan VM.

Tabel 2.3. Hubungan Sifat Caking dengan *Coal Rank Code*

Sifat Caking	<i>Coal Rank Code</i>
<i>Very Strongly Caking</i>	400
<i>Strongly Caking</i>	500
<i>Medium Caking</i>	600
<i>Weakly Caking</i>	700
<i>Very Weakly Caking</i>	800
<i>Non Caking</i>	900

Sumber: Annual Book NCB Standard

C. Klasifikasi Menurut International

Klasifikasi ini dikembangkan oleh *Economic Commission for Europe* pada tahun 1956. Klasifikasi ini dibagi atas 2 (dua) bagian, yaitu:

1. *Hard Coal*

Hard Coals didefinisikan 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 atas nilai kalornya (mmaf) dengan kandungan VM lebih dari 33%. Masing-masing kelas dibagi atas 4 group (0 - 3) menurut sifat caking-nya yang ditentukan dari *Free Swelling Index* dan *Roga Index*. Masing-masing grup ini dibagi lagi atas sub grup berdasarkan tipe dari coke yang diperoleh dari 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 sifat coking dari batubara dibedakan atas kelakuan serbuk batubara bila dipanaskan. Bila laju kenaikan temperatur relatif lebih cepat menunjukkan sifat caking.

2. *Brown Coal (Low Rank Coal)*

Brown Coal dan Lignit, Didefinisikan untuk untuk batubara dengan nilai kalor (maf) dibawah 10.260 Btu/ lb atau 5.700 kcal/ kg. International klasifikasi dari *Brown coal* dan lignit dibagi atas parameternya, yaitu *total moisture* dan *low temperatur tar yield* (daf). Pada klasifikasi ini batubara dibagi atas 6 (enam) kelas berdasarkan *total moisture (ash free)*, yaitu:

Tabel 2.4. Kelas *Brown coal* dan Lignit menurut Klasifikasi Internasional

Nomor Kelas	<i>Total Moisture</i> (% , <i>ash free</i>)
10	Lebih rendah 20
11	20 – 30
12	30 – 40
13	40 – 50
14	50 – 60
15	60 – 70

Sumber: *Annual Book ECE Standard*

D. Klasifikasi Menurut Australia Standard

Batubara dapat diklasifikasikan menjadi *higher rank coal* dan *lower rank coal* atas dasar nilai *gross specific energy* dengan basis dry, ash free (daf); atau ash free, moist (maf).

1. *High Rank Coal*

Batubara diklasifikasikan sebagai *high rank coal*, bila memenuhi kriteria berikut ini:

- a. *Gross specific energy (daf)* 27,00 MJ/ kg atau lebih besar.
- b. *Gross specific energy (afm)* 21,00 MJ/ kg atau lebih besar.

2. *Lower Rank Coal*

Batubara diklasifikasikan sebagai *lower rank coal*, bila memenuhi kriteria berikut ini:

- a. *Gross specific energy (afm)* lebih rendah dari 21,00 MJ/ kg.
- b. *Gross specific energy (daf)* lebih rendah dari 27,00 MJ/ kg.

Berdasarkan rank pembentukan batubara dari rank tertinggi ke terendah yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas :

1. Antrasit

Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86%-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%. Biasanya digunakan untuk proses sintering bijih mineral, proses pembuatan elektroda listrik, pembakaran batu gamping, dan untuk pembuatan briket tanpa asap. batubara yang terjadi pada umur geologi yang paling tua. Struktur kompak, berat jenis tinggi, berwarna hitam metalik, kandungan VCM rendah, kandungan abu dan air rendah, mudah ditepung. Kalau dibakar, hampir seluruhnya habis terbakar tanpa timbul nyala. Nilai kalor atas 8.300 kkal/kg.



Gambar 2.2 Antrasit

(sumber : en.wikipedia.org/wiki/Anthracite)

Antrasit ($C_{94}OH_3O_3$) dengan ciri :

- Warna hitam mengkilap
- 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

2. Bituminus

Bituminus merupakan jenis batubara yang mengandung 68-86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia. Batubara ini masih dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Batubara ketel uap atau batubara termal atau yang disebut *steam coal*, banyak digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, pembakaran umum seperti pada industri bata atau genteng, dan industri semen
- b. Batubara metalurgi (*metallurgical coal* atau *coking coal*) digunakan untuk keperluan industri besi dan baja serta industri kimiaterbentuk pada periode geologi “*carboniferous*” dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami karbonisasi. Nilai kalor 7.000-8.000 kkal/kg. Kandungan abu dan airnya rendah (5-10%). Kalau kandungan abunya tinggi, biasanya dipakai pada “steam power plant”. Batubara yang berwarna hitam tidak bersifat higroskopis



Gambar 2.3 Bituminus

(sumber : en.wikipedia.org/wiki/Bituminus)

3. Sub-bituminus

Batubara sub bituminous mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.



Gambar 2.4 Sub-bituminus

(Sumber : en.wikipedia.org/wiki/Sub-Bituminous)

Subbituminous ($C_{75}OH_5O_{20}$) – Bituminous ($C_{80}OH_5O_{15}$) dengan ciri :

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

4. Lignit atau batubara coklat

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. Lignit adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya, terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami karbonisasi atau perkayaan akan kandungan C di bawah lapisan tanah dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2.5 Lignit

(sumber : en.wikipedia.org/wiki/Lignite)

Lignit/ brown coal, ($C_{70}OH_5O_{25}$) dengan ciri :

- Warna kecoklatan
- Material terkompaksi namun sangat rapuh
- Mempunyai kandungan air yang tinggi (bersifat higroskopis) dan kadar N, O, VCM, S tinggi
- Mempunyai kandungan karbon padat rendah
- Mempunyai kandungan karbon terbang tinggi
- Mudah teroksidasi
- Nilai panas yang dihasilkan rendah
- Nilai kalor bawah sekitar 1.500-4.500 kkal/kg.

5. Gambut

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). Jenis gambut berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.



Gambar 2.6 Gambut

(Sumber : en.wikipedia.org/wiki/peatcoal)

Peat/ 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

- Kandungan abunya tergantung pada lumpur rawa. Bahan bersifat higroskopis.
- Kandungan airnya tergantung pada kondisi pengeringan, transportasi dan penyimpanan.
- Nilai kalor bawahnya 1.700-3.000 kkal/kg.

Kandungan komponen penyusun batubara berbeda-beda berdasarkan jenis batubara itu sendiri. Untuk lebih jelasnya karakteristik jenis-jenis batubara dapat dilihat pada table 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5 Ranges Komposisi dan Karakteristik Jenis-Jenis Batubara

Kandungan	Antrasit	Bituminus	Sub-bituminus	Lignit
Kadar Air (%)	3-6	2-15	10-25	24-45
Zat Terbang (%)	2-12	15-45	28-45	24-32
Karbon Padat (%)	75-85	50-70	30-75	25-30
Abu (%)	4-15	4-15	3-10	3-15
Beleran (%)	0,5-2,5	0,5-6	0,3-1,	0,3-2,5
Hidrogen (%)	1,5-3,5	4,5-6	5,5-6,5	6-7,5
Karbon (%)	75-85	65-80	55-70	35-45
Nitrogen (%)	0,5-1	0,5-35	0,8-1,5	0,6-1
Oksigen (%)	5,5-9	4,5-10	15-30	38-48
Kalor (kkal/kg)	6.671-7.505	5.559-6.671	4.169-5.559	>4.169
Densitas (g/ml)	1,35-1,7	1,28-1,35	1,35-1,4	1,4-1,45

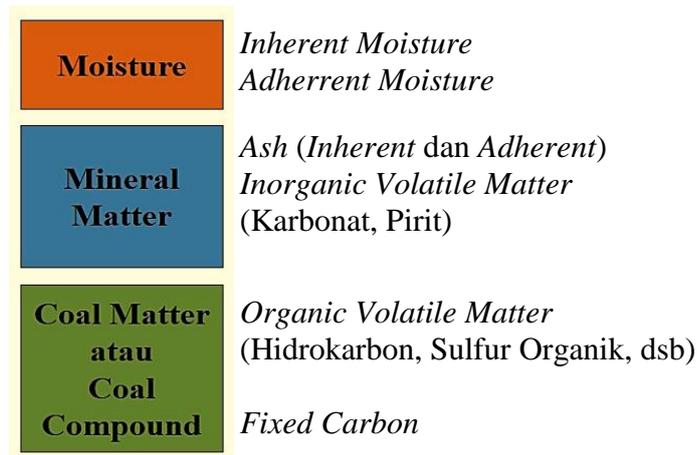
Sumber: Putranto, 2012

2.1.3 Susunan Kimia Batubara

Secara kimia, batubara tersusun atas tiga komponen utama yaitu:

1. Air yang terikat secara fisik yang terdiri dari dua jenis yaitu *inherent moisture* dan *adherent moisture*
2. Senyawa batubara atau *coal substance* atau *coal matter*, yaitu senyawa organik yang terutama terdiri atas atom karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen.
3. Zat mineral atau mineral matter, yaitu macam-macam senyawa organik.

Skema susunan batubara tersebut dapat dilukiskan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Skema Susunan Kimia Batubara

Sumber: Muchjidin, 2006

A. Kadar Air Batubara (*Moisture content*)

Moisture batubara ialah air yang menguap dari batubara apabila dipanaskan sampai pada suhu 105–110°C. Terdapat dua jenis kandungan *moisture* dalam batubara yaitu *inherent moisture* (air bawaan) dan *adherent moisture* (air tambahan). (Muchjidin, 2013).

1. *Inherent Moisture*

Inherent moisture ialah air yang secara fisik terikat di dalam rongga-rongga kapiler serta pori-pori batubara yang relatif kecil, serta mempunyai tekan uap air yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tekanan uap air yang terdapat pada permukaan batubara. Banyaknya jumlah *inherent moisture* dalam suatu batubara dapat dipergunakan sebagai tolok ukur tinggi rendahnya tingkat rank batubara tersebut. Semakin tinggi nilai *inherent moisture* suatu batubara, semakin rendah tingkat rank batubara tersebut. Batubara peringkat rendah umumnya mengandung *inherent moisture* yang sangat tinggi. Kadar air ini akan menurun dengan naiknya peringkat batubara, misalnya dari $\pm 50\%$ untuk lignit sampai $\pm 5\%$ untuk Bituminus. (Tsai,1992).

Dalam penentuan dengan menggunakan standar ASTM, *inherent moisture* sering disebut dengan istilah *equilibrium moisture (EQM)*, *residual moisture (RM)* dan *moisture in the analysis sample*. Sedangkan dalam standara ISO prosedur penentuannya disebut *moisture holding capacity (MHC)*, *moisture in air dried sample (MAD)* dan *moisture in the analysis sample*.

2. *Adherent Moisture*

Adherent moisture ialah air yang terdapat permukaan batubara atau di dalam pori-pori batubara yang relatif besar. Istilah *surface moisture* digunakan oleh *international standard* (ISO), BS, AS sedangkan standar ASTM mempergunakan istilah *free moisture*. Oleh karena sebagian besar moisture ini terdapat pada permukaan batubara, maka semakin luas permukaan suatu batubara, semakin besar pula jumlah *surface moisture*-nya, ini berarti bahwa semakin halus suatu batubara, semakin besar pula *surface moisture*-nya.

Keberadaan *adherent moisture* pada batubara dimungkinkan terjadi dalam beberapa situasi, antara lain :

1. Bercampurnya air tanah dengan batubara pada waktu penambangan maupun pada kondisi asalnya di dalam tanah.
2. Taburan air hujan pada tumpukan batubara
3. Sisa-sisa air yang tertinggal pada permukaan batubara setelah proses pencucian.
4. Air yang disemprotkan untuk mengurangi debu pada tumpukan batubara.

Selain dua jenis moisture diatas, adapun istilah *Total Moisture* yang merupakan jumlah seluruh air yang terdapat pada batubara dalam bentuk inherent dan adherent pada kondisi saat batubara tersebut diambil contohnya (*as sampled*) atau pada pada kondisi saat batubara tersebut diterima (*as received*). Nilai total moisture diperoleh dari hasil perhitungan nilai *free moisture* dengan nilai *residual moisture*.

B. Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang atau *volatile matter* merupakan senyawa organik atau anorganik yang hilang saat batubara yang telah dihilangkan kandungannya dipanaskan pada suhu tinggi pada waktu tertentu. Zat yang hilang ini sebagian besar terdiri dari gas yang mudah menguap bila dipanaskan, seperti hidrogen, karbon dioksida dan metana Berdasarkan ASTM, kandungan zat terbang ditentukan dari selisih bobot sampel batubara sebelum dan sesudah dipanaskan dengan suhu 950°C selama 7 menit tanpa udara (Arif, 2014).

C. Kadar Abu.

Kadar abu sering kali istilah dengan *mineral matter*. Mineral matter yang terdapat dalam batubara ada dua macam :

1. *Inherent mineral matter*

Terbentuk bersamaan dengan pembentukan batubara selama proses pembatubaraan dan merupakan bagian terintegral dari substansi batubara.

2. *Extraneous Mineral Matter*

Biasanya *extraneous mineral matter* ini berupa *slate, shale, clay* atau *lime stone* dan jumlahnya biasa dalam ukuran mikroskopik sampai berupa lapisan tebal dan *band*.

D. Kadar Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Karbon tertambat merupakan banyaknya karbon yang tersisa setelah *moisture, volatile matter, dan ash* dihilangkan. Karbon tertambat menggambarkan sisa penguraian dari komponen organik batubara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi.

2.2 Analisis Karakteristik Batubara

Analisis batubara dilakukan untuk mengetahui karakter dari batubara yang diteliti dan untuk menentukan klasifikasi berdasarkan ASTM, analisis ini meliputi:

A. Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan metode analisa kimia yang bertujuan untuk mengkuantifikasi nilai moisture atau air yang dikandung batubara, baik air permukaan (*free moisture*) maupun air bawaan (*inherent moisture*), kemudian mengkuantifikasi pula kandungan abu (*ash*), zat terbang (*volatile matters*), dan karbon tertambat (*fixed carbon*).

Analisis proksimat meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang dan karbon tertambat.

1. Kadar lengas dihitung dari persentase berat yang hilang apabila contoh batubara dipanaskan dalam oven pada suhu 110 °C sampai beratnya konstan, biasanya selama kurang lebih satu jam.
2. Analisis kadar abu batubara dilakukan dengan cara memanaskan contoh batubara dalam *muffle furnace* secara perlahan-lahan, dimulai dari suhu rendah sampai suhu 250 °C selama 30 menit, dari 250 °C sampai 500 °C selama 30 menit, kemudian dari 500 °C sampai 815 °C selama 60 menit. Pemanasan diteruskan sampai contoh sempurna menjadi abu. Berat contoh setelah diabukan dibagi berat contoh asal, dikali 100% adalah kadar abu.
3. Analisis kadar zat terbang dilakukan dengan cara memanaskan contoh batubara tanpa oksidasi dengan menggunakan cawan silika dalam furnace khusus untuk penentuan zat terbang, pada suhu 900 °C selama 7 menit. Kadar zat terbang dapat dihitung dari persentase kehilangan berat setelah pemanasan dan koreksi terhadap kadar air.
4. Kadar karbon tertambat ditentukan dari perhitungan yaitu : $100\% - (\% \text{ kadar lengas} + \% \text{ abu} + \% \text{ zat terbang})$.

B. Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor batubara dianggap sebagai jumlah panas pembakaran dari material yang dapat terbakar seperti karbon, hydrogen dan sulfur (dikurangi panas dekomposisi dari *carbonaceous* material dan ditambah reaksi eksotermis atau dikurangi reaksi endotermis yang terjadi didalam pengotor). Pada dasar (basis) dmmf, nilai kalor berhubungan langsung dengan komposisi substansi batubara dan peringkat batubara serta dapat diperkirakan dari analisis ultimat dengan keakuratan yang dapat dipertanggung jawabkan. Analisis nilai kalor dilakukan dengan menggunakan alat Adiabatic Bomb Calorimeter. Contoh batubara dibakar dalam alat tersebut pada kondisi standar, panas hasil pembakaran dapat diamati dari kenaikan suhu yang ditunjukkan oleh thermometer setelah dilakukan proses pembakaran.

2.3 Macam-macam Proses Peningkatan Mutu Batubara

Berbagai proses peningkatan mutu batubara telah dikembangkan di dunia, berikut adalah beberapa diantaranya yang dapat dikategorikan cukup berhasil:

2.3.1 Proses *Energy-efficient coal dewatering*

Merupakan proses yang menggunakan *liquefied dimethyl ether* (Orville). Proses ini dikembangkan oleh Energy Engineering Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Jepang. Peneliti Kanada (2010) menyatakan bahwa meskipun penelitian mereka masih dalam skala laboratorium dan benchscale akan tetapi proses yang mereka kembangkan diyakini akan cukup menjanjikan, karena tidak saja efisien, tetapi juga efektif. Batubara hasil proses dewatering tidak mengalami perubahan karakteristik dari batubara asalnya. Jumlah energi yang dikonsumsi per kg air yang dipisahkan adalah sekitar 2069 kJ, untuk penelitian dengan menggunakan bench-scale unit. Proses ini mempunyai kemiripan dengan proses yang dikaji dalam program penelitian yang saat ini sedang dilaksanakan.

2.3.2 Proses "*White Coal Technology*"

Proses ini dikembangkan oleh White Energy Co, Ltd di Sydney Australia, Dengan proses pengeringan yang relatif sederhana diikuti dengan stabilisasi fisik dan kimia melalui proses briquetting tanpa perekat (binder), batubara sub-bituminus ditingkatkan mutunya menjadi batubara setara bituminous, Menurut White Energy Co,Ltd, teknologi yang mereka kembangkan mempunyai kelebihan dalam pengoperasian dan biaya, serta bisa mengolah secara komersial batubara mutu rendah dengan kandungan air yang tinggi dalam jumlah yang besar. Masih menurut pemilik teknologi, proses ini menyediakan batubara yang lebih bersih dan lebih efisien untuk dibakar di pembangkit listrik maupun diterapkan di industri yang lain.

2.3.3 Proses *Hydrothermal Upgrading*

Proses pengolahan ini dikembangkan oleh Departement of Chemical Engineering-Kyoto University, Jepang yang terdiri dari 3 cara/metoda pengolahan, yaitu :

- a. Metode konvensional dengan menambahkan extra air sebelum batubara diolah;
- b. Metode "*asreceived*" atau pengolahan tanpa extra air,
- c. Metode separasi, yang memisahkan air dan batubara secara fisika.

Upgrading dengan teknik separasi menghasilkan proses pengeringan yang lebih efektif pada temperatur 350°C, dimana kandungan air dalam batubara dapat diturunkan dari 59% hingga tinggal 6%, menghasilkan batubara dengan nilai kalar yang tinggi. Akan tetapi pengolahan pada suhu diatas 300°C menyebabkan bahan mudah terbang (*volatile matter*) ikut menguap ini berdampak pada sifat atau karakteristik batubara produk berbeda dengan batubara asalnya. Dampak lainnya adalah sifat mudah terbakar batubara asalnya akan berkurang secara signifikan.

2.3.4 Hot Water Drying EERC (Energy & Environmental Research Center)

University of North Dakota di Grand Forks, North Dakota, USA telah mengembangkan proses peningkatan mutu batubara muda yang disebut dengan "*hot-water-drying process*" yang pada prinsipnya merupakan proses *pressure-cooking* batubara dengan medium air. Batubara dipisahkan dengan airnya pada kondisi yang mirip dengan proses pada saat batubara sedang mengalami *natural metamorphism*, akan tetapi metamorphism nya dicapai pada kondisi tekanan yang tinggi. Pada kondisi tekanan dan temperatur tinggi yang sesuai, lignite tidak hanya akan kehilangan airnya yang terikat secara kimia, tetapi juga berada dalam keadaan dimana tidak akan mengabsorpsi kembali airnya apabila batubara tersebut ditahan dalam air pada tekanan tinggi. Hal ini akan berdampak pada perubahan dalam batubara muda, dimana tar yang terbentuk akan menutupi pori-porinya.

2.3.5 Steam Tube Drying (STO)

Proses pengeringan batubara muda ini dikembangkan oleh Tsukishima Kikai. Proses pengeringan batubara muda ini dikembangkan oleh Tsukishima Kikai Co, Ltd, Jepang yang pada prinsipnya memanfaatkan uap turbin pada pembangkit listrik untuk mengeringkan batubara, dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi konsumsi batubara dan emisi CO₂. Saat ini

Tsukishimakikai CO.telah memasok lebih dari 500 unit STO untuk berbagai aplikasi. Maksimum kapasitas STO yang pernah diproduksi adalah 500 ton/jam untuk pengeringan *cooking coal* dengan hanya menggunakan 1 dryer saja berukuran 4,2 m x 35,5 m yang dioperasikan selama 1 tahun tanpa kendala. Proses STO pada dasarnya merupakan proses *Indirect heating drying*, sehingga volume gas buangnya dapat diperkecil. Mekanisme prosesnya seperti pada *Kiln mechanism* dimana batubara dimasukkan kedalam *shell* sedangkan uap panas masuk kedalam tube. STO *predrying* dapat diterapkan pada pembangkit listrik yang sudah ada, yang akan dibangun maupun sistim gasifikasi untuk IGCC dan SNG.

2.4 Teknologi *Upgrading Brown Coal* (UBC)

Teknologi *upgrading brown coal* merupakan salah satu metode pemanfaatan batubara peringkat rendah dengan jalan menurunkan kandungan air sehingga secara langsung akan menaikkan nilai kalori batubara tersebut. Proses *upgrading* dengan teknologi UBC telah diakui kehandalannya (Daulay, 2008). Dibandingkan dengan teknologi *upgrading* lainnya, UBC mempunyai keuntungan karena proses dilakukan pada temperatur dan tekanan relatif rendah, yaitu 150-160°C pada 0,2-0,3 MPa. Teknologi UBC merupakan teknologi yang dikembangkan oleh JCoal dan Tekmira dalam upaya peningkatan nilai kalor batubara. Teknologi ini dapat meningkatkan kalori batubara dari 2.600 kkal/kg (ar) menjadi 5.600 kkal/kg (adb) dengan *total moisture* akhir 9%. Pada prosesnya, pengembangan teknologi UBC ini pernah di uji coba di PT. Arutmin Indonesia dengan hasil yaitu terjadi peningkatan nilai kalor (CV) *ecocoal* dari 4.200 kkal/kg GAR basis menjadi 6.000 kkal/kg GAR basis dengan menurunkan kadar *total moisture* dari 35-38% ke 8,3% dan menurunkan kadar *inherent moisture* dari 23% menjadi 9%. (Arif,2014)

Berdasarkan penelitian proses UBC skala laboratorium di Puslitbang tekMIRA (Umar, 2002) dan skala bench di Kobe Steel Ltd., Kakogawa, Jepang, (Shigehisa, 2000), beberapa batubara peringkat rendah yang berasal dari Indonesia dapat ditingkatkan kualitasnya. Dalam proses UBC, batubara dibuat slurry dengan menggunakan minyak tanah yang dicampur dengan minyak residu, kemudian

dipanaskan pada temperatur 150°C dan tekanan sekitar 3,5 atm (Deguchi,1999). Batubara hasil proses dipisahkan, dikeringkan, dan dibuat briket. Campuran minyak tanah dan residu dapat digunakan kembali untuk proses selanjutnya. Penambahan minyak residu diperlukan untuk menutup pori-pori batubara yang terbuka sehingga air yang telah keluar tidak akan terserap kembali.

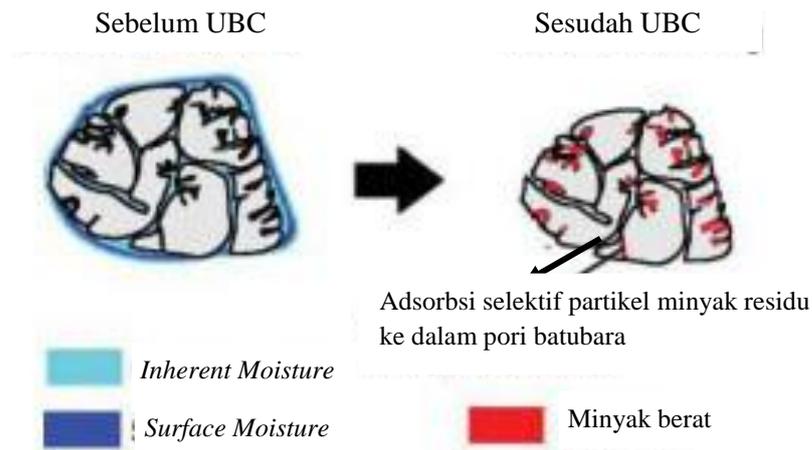
Penelitian dan pengembangan teknologi *upgrading* batubara telah banyak diteliti di berbagai Negara. Akhir-akhir ini di Indonesia penelitian *upgrading* batubara telah dan sedang dilakukan, seperti kerjasama antara JCOAL dan ESDM yang mengembangkan proses UBC juga *White Energy* yang mengembangkan proses BCB di Tabang, Kalimantan Timur.

2.4.1 Mekanisme Proses UBC

Proses UBC dilakukan dengan memanaskan batubara yang telah dicampur dengan campuran minyak tanah dan residu pada suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 0,35 MPa ($\pm 3,5$ atm). Karena temperatur dan tekanan yang diterapkan cukup rendah, maka pengeluaran tar dari batubara belum sempurna, karenanya perlu ditambahkan zat aditif sebagai penutup permukaan batubara. Untuk proses UBC, sebagai aditif digunakan minyak residu yang merupakan senyawa organik yang beberapa sifat kimianya mempunyai kesamaan dengan batubara. Dengan kesamaan sifat kimia tersebut, minyak berat (*heavy oil*) yang masuk ke dalam pori-pori batubara akan kering kemudian bersatu dengan batubara. Lapisan minyak ini cukup kuat dan dapat menempel pada waktu yang cukup lama sehingga batubara dapat disimpan di tempat terbuka untuk jangka waktu yang cukup lama (Shigehisa et al, 2000).

Pada proses UBC, kandungan moisture dalam batubara peringkat rendah dihilangkan dengan cara pemanasan (*dewatering*) di dalam media minyak yang bahan utamanya adalah minyak ringan (*light oil*) minyak berat. Penambahan minyak berat dalam minyak tanah diperlukan untuk menjaga kestabilan kadar air bawaan batubara pasca proses. Sedangkan minyak tanah diperlukan sebagai media dalam proses. Minyak berat tadi sebelumnya ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam media minyak, kurang lebih 0.5wt% (*air dried base*). Pada saat proses pemanasan berlangsung, air dalam pori-pori batubara keluar, kemudian minyak

berat akan teradsorpsi secara selektif di dalam pori-pori tersebut sehingga partikel batubara terlapsi oleh minyak residu yang mengakibatkan air yang keluar dari pori-pori tidak dapat kembali masuk kedalam batubara. Batubara hasil pemanasan kemudian dipisahkan dari minyak dan dikeringkan. Minyak yang telah dipakai dipisahkan dari air (yang berasal dari batubara) berdasarkan perbedaan berat jenis dan dapat digunakan kembali untuk proses berikutnya



Gambar 2.9 Batubara Sebelum dan Sesudah Dilakukan *Upgrading*
 Sumber: tekmira.esdm.go.id

Karena proses UBC dilakukan pada tekanan dan temperatur yang rendah, maka tidak terjadi reaksi kimia yang cukup berarti. Air limbah proses UBC tidak akan mencemari lingkungan apabila air limbah tersebut dibuang langsung ke sungai/tempat pembuangan air sehingga biaya penanganan limbah juga menjadi rendah.

2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Proses *Upgrading*

Adapun faktor yang dapat mempengaruhi proses *upgrading* yaitu:

a. Waktu Reaksi

Waktu tinggal merupakan variabel proses yang penting. Waktu tinggal yang lama disertai pemanasan yang tinggi menyebabkan pecahnya ikatan – ikatan hidrogen, repolimerisasi dan stabilisasi radikal bebas dari persediaan hidrogen pada batubara dan donor hidrogen lebih cepat terjadi. Waktu tinggal yang diperlukan antara 30 – 90 menit. (Hartiniati et. al, 2003)

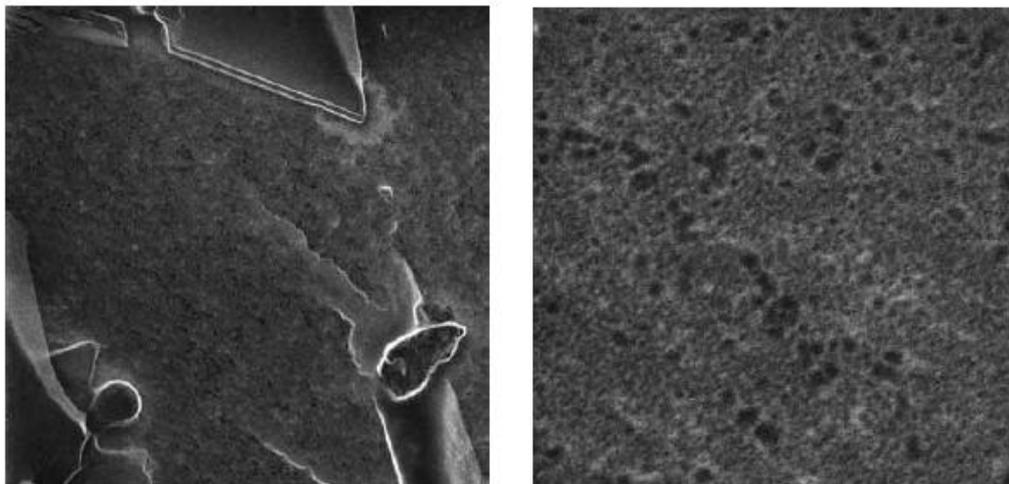
b. Temperatur Reaksi

Temperatur memegang peranan utama dalam proses stabilisator. Dari 2 variabel temperatur yang dicoba yaitu 115 dan 135°C pada proses pemanasan dengan kecepatan umpan batubara 200 kg/jam, menunjukkan makin tinggi temperatur proses makin tinggi persen penurunan kadar air dalam batubara. (Umar et. al, 2003)

c. Ukuran Partikel Batubara

Batubara merupakan salah satu padatan *porous* yang mempunyai pori-pori berupa pipa-pipa kapiler. Pori-pori ini merupakan celah terbuka dalam matriks batubara yang memiliki kedalaman lebih besar dari lebarnya, serta memiliki variasi dalam bentuk dan lebarnya (Aminian dan Rodvelt, 2014).

Menurut Flores 2013 dan Zou 2012, terdapat 3 jenis pori dalam batubara yaitu Mikropori (< 2nm), Mesopori (2-50nm), Makropori (> 50nm).



Gambar 2.10 Porositas pada Batubara

Sumber: ExxonMobil Research and Engineering Co., Annandale, NJ 08801, USA

Batubara memiliki jumlah pori-pori yang sangat banyak sehingga batubara juga memiliki luas permukaan yang sangat besar, sekitar 1 cm³ batubara dapat memiliki luas permukaan hingga 3 m². Rata-rata sekitar 77% pori dalam batubara berupa mikropori, 5% berupa mesopori, 15% berupa makropori dan 3% berupa cleat dan fraktur (Mastalrez, et. al, 2008).

2.5 Kerosen sebagai Media Pelarut

Minyak tanah (bahasa Inggris: kerosene atau paraffin) adalah cairan hidrokarbon yang tak berwarna dan mudah terbakar. Diperoleh dengan cara distilasi fraksional dari petroleum pada 150°C and 275°C (rantai karbon dari C12 sampai C15). Nama *kerosene* diturunkan dari bahasa Yunani *keros* (κερωσ, wax).

Minyak tanah merupakan bahan bakar jenis distilat yang tidak berwarna (jernih). Penggunaan minyak tanah pada umumnya adalah untuk keperluan industri (seperti solvent) dan sebagian masih digunakan sebagai bahan bakar di rumah tangga (memasak, penerangan, dll).

Tabel 2.7. Sifat – Sifat Fisik Kerosen

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min	Maks	ASTM	Lain
1.	Densitas pada 15°C	Kg/m ³	-	835	D 1298	
2.	Titik asap	mm	15	-	D 1322	
3.	Nilai jelaga (Char Value)	mg/kg	-	40		IP 10
4.	Distilasi: Perolehan pada 200°C	% vol	18	-	D 86	
	Titik Akhir	°C	-	310		
5.	Titik nyala awal	°C	38,0	-		IP 170
6.	Kandungan belerang	% massa	-	0,20	D 1266	
7.	Korosi bilah tembaga (3 jam/50°C)	-	-	No.1	D 130	
8.	Bau dan warna	-	Dapat dipasarkan			

Sumber: Keputusan Direktur Jenderal Migas No. 17.K/72/DJM/1999

2.6 Minyak Pelumas (*Lube Oil*) sebagai *Coating Agent*

Minyak pelumas atau oli merupakan sejenis cairan kental yang berfungsi sebagai pelicin, pelindung, dan pembersih bagian dalam mesin. Minyak pelumas yang dipergunakan di mesin industri atau kendaraan berasal dari *lube oil stock*. Adapun spesifikasi minyak pelumas motor bensin dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Spesifikasi Minyak Pelumas Motor Bensin SAE 40 SE/CC

Karakteristik	Nilai
No. SAE	40
<i>Specific density</i> , 15°C kg/l	0,8962
<i>Viscosity Kinematic</i> , at 4°C, cSt	236,10
100°C, cSt	19,90
<i>Viscosity index</i>	95
<i>Colour</i> ASTM	2,5
<i>Flash point</i> , °C	252
<i>Pour point</i> , °C	9
<i>Total Base Number</i> , mg KOH/gr	5,20

Sumber: pelumas.pertamina.com