

BAB III

TEORI DASAR

Batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan (menurut UU No.4 tahun 2009).

Istilah batubara banyak dijumpai dari berbagai sumber seiring dengan perkembangan dan pemanfaatan batubara. Menurut beberapa ahli, batubara dapat didefinisikan sebagai berikut :

“Batubara ialah batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, dan oksigen sebagai unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk abu tersebar sebagai partikel zat mineral terpisah-pisah di seluruh senyawa batubara. Beberapa jenis batubara meleleh dan menjadi plastis apabila dipanaskan, tetapi meninggalkan suatu residu yang disebut kokas. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair atau dihidrogenisasikan untuk membuat metan”. (Elliott,198. Dalam buku Muchjidin, 2006, *Pengendalian mutu dalam industri batubara*, Penerbit ITB, Bandung.)

3.1 Batubara

3.1.1 Pembentukan Batubara

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 berililin (kulit ari daun, dinding spora, dan tepung sari). Karena itulah di dalam batubara muda masih terdapat ranting, daun, spora, bijih, dan resin, sebagai sisa tumbuhan. Bagian-bagian tumbuhan itu terurai di bawah kondisi aerob menjadi karbon dioksida, air, dan amoniak. Proses ini disebut proses pembentukan humus (Humification) dan hasilnya berupa gambut (Peat).

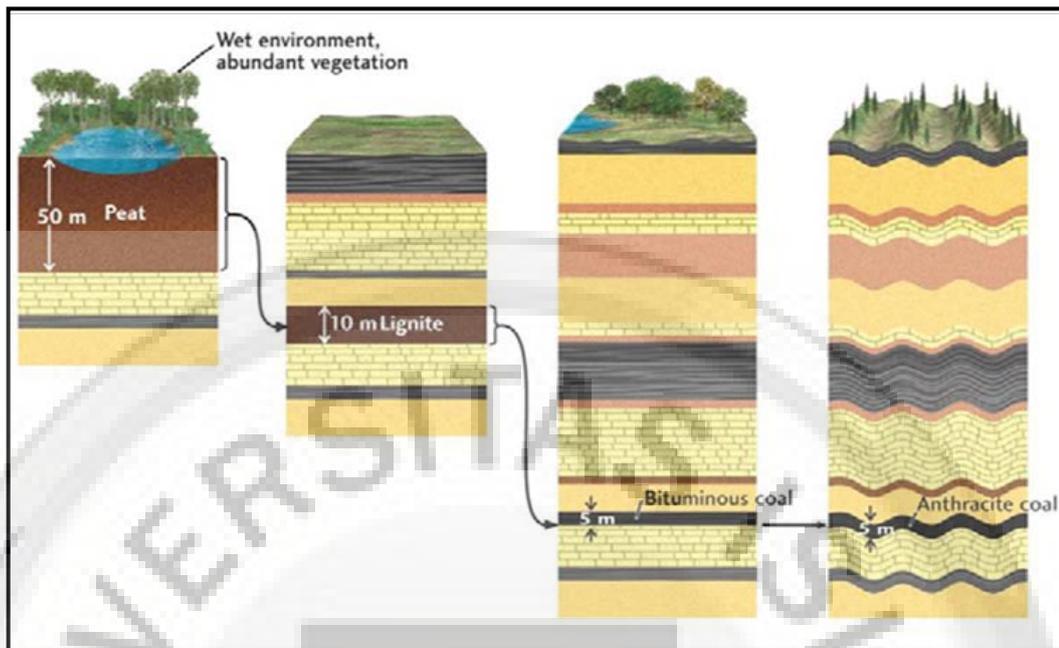
Pembentukan Lignit, proses terbentuknya pada gambut yang berlangsung tanpa menutupi endapan gambut tersebut. Di bawah kondisi yang asam, dengan dibebaskannya H_2O , CH_4 dan sedikit CO_2 , terbentuklah material dengan rumus $C_{65}H_4C_{30}$ atau *ulmin* yang pada keadaan kering akan mengandung karbon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

Dengan berubahnya topografi daerah sekelilingnya, gambut menjadi terkubur di bawah 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*.

Pembentukan Batubara Subbitumen, proses 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)

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 CH_4 , CO_2 , dan mungkin H_2O .

Pembentukan Antrasit, 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. Secara skematis, proses pembentukan batubara dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1
Skema Tahapan Pembentukan Batubara

3.1.2 Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

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. Sedangkan sistem internasional atau UN-ECE (United Nations-European Economic Community) membagi batubara kedalam jenis *brown coal* dan *hard coal* berdasarkan kandungan zat terbang dalam *dry ash free* (daf), nilai kalor dan sifat *caking* batubara seperti *free swelling index*, *roga index*, *dilatasi* dan *gray king assay*.

Batubara peringkat rendah atau lignit mempunyai nilai kalor <4611 kkal/kg (dmmf), dan *brown coal* dengan nilai kalor <5700 kkal/kg (mmf) dengan refleksi vitrinit > 0,4.

Sebagaimana diketahui bahwa berdasarkan kepada kandungan maseralnya, batubara dibagi menjadi tiga group besar, yaitu *fitrinit*, *liptinit*, dan *inertrinit*. Sebagai parameter untuk pembagian batubara berdasarkan *rank*, digunakan refleksi fitrinit. Hal ini karena kenaikan yang linier terhadap *rank*. *Rank* batubara berdasarkan petrografi dapat dilihat pada Tabel 3.1

3.1.2.1 Maseral

Maseral adalah partikel terkecil organik sebagai pembeda dari batubara yang dapat dilihat di bawah mikroskop. Perbedaannya didasarkan pada sifat optik dan komposisi kimia karena asalnya di berbagai bagian tanaman.

Ada tiga kelompok maseral : vitrinit, liptinite, dan inertinit, pemberian nama menunjukkan sumber, penampilan, atau reaktivitas. Masing-masing dari tiga kelompok berisi sub kelompok maseral dengan kesamaan asal, sifat optik, dan komposisi.

Umumnya, vitrinit adalah maseral yang paling berlimpah dalam batubara dan merupakan maseral yang paling homogen. Vitrinit terbentuk sebagian dari lignin, sebuah zat polimer amorf yang menyediakan struktur dinding sel tanaman dalam hubungannya dengan selulosa. Selain itu, vitrinit terbentuk dari selulosa dan bagian kayu dari tanaman yang membuat struktur kimia yang tinggi oksigen dan aromatik. Kandungan oksigen yang lebih tinggi dari maseral liptinite. Karbon vitrinit adalah maseral yang paling kondusif untuk membentuk sistem *cleat* di batubara.

Tabel 3.1
Rank Batubara Berdasarkan petrografi

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 Volatril 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

Liptinite, yang biasa disebut juga sebagai exinite, berasal dari spora, serbuk sari, resin, sekresi berminyak, ganggang, lemak, protein bakteri, dan lilin. Dengan demikian, liptinit memiliki sub kelompok maseral ditunjuk sebagai resinite, alginite, dan cutinite. Kulitnya mengacu pada lapisan tipis yang ditemukan di dinding luar tumbuhan tingkat tinggi yang merupakan pelindung, deposit lemak terus-menerus. Bentuk kulit maseral cutinite berasal dari kelompok liptinite. Maseral dari liptinite memiliki struktur kimia yang tinggi dalam hidrogen dan alifatik. Banyak *volatil*, termasuk metana, yang dipancarkan oleh batubara selama *coalification* berasal dari liptinite tersebut. Maseral ini memiliki potensi menghasilkan gas hidrokarbon dan oil.

Inertinit adalah dinding sel teroksidasi atau *charcoaled* atau batang tanaman, sehingga karbon tinggi dan konten aromatik tetapi kurang hidrogen. Inertinit memiliki relatif lebih banyak karbon dibanding maseral lain, dan namanya berasal dari kurangnya reaktivitas kimia. Inertinites berasal dari kebakaran hutan, aksi bakteri, dan oksidasi dari udara sebelum tahap *coalification* itu didapatkan. Hanya sejumlah kecil *volatil* yang dihasilkan oleh inertinites. Selanjutnya, praktis tidak ada potensi maseral ini untuk menghasilkan *hydrocarbons*. Inertinit adalah yang paling sulit dari maseral, dan itu terlihat pada permukaan yang dipoles sebagai *protrusion*. Konten inertinit tinggi batubara membuat batubara kurang konduktif untuk membentuk *cleat*.

3.1.2.2 Litotipe

Pada dasar mikroskopis, maseral mengklasifikasikan bentuk batubara sesuai dengan sumber tanaman.

Pada dasar makroskopik, litotipe mengklasifikasikan *band* batubara yang dapat dilihat menurut isi maseral dominan dan kecil. Ini adalah klasifikasi yang dimaksudkan untuk menggambarkan komposisi batubara dengan cara kecerahan atau kekusaman *band* dengan kasat mata.

Keempat litotipe adalah:

- Vitrain ;
- Clarain ;
- Durain dan Fusain.

Vitrain terdiri terutama dari vitrinit. Sejumlah kecil inertinit dan liptinit maseral yang hadir. Maseral ini merupakan pita hitam terang kompak terlihat

dalam batubara. Vitrain memainkan peran penting dalam pembentukan *cleat*. Fisura yang umum di dalamnya dan karena ini, sangat baik dihasilkan dalam memproduksi sumur CBM harus tertimbang terhadap vitrain tersebut. Vitrain adalah litotipe paling penting dalam membangun keberhasilan CBM.

Durain adalah litotipe tidak mengkilap. Ini berisi lebih banyak bahan mineral dan inertinit daripada vitrain atau clarain. Hal ini keras dan sulit untuk mengalami retakan. Durain tidak kondusif untuk membangun permeabilitas yang baik dalam sebuah lapisan batubara.

Fusain menyerupai *charcoal*. Hal ini berserat dan lembut serta mudah patah. Fusain adalah yang paling penting dari litotipe dalam proses CBM. Jelas, manfaat terbesar dari litotipe untuk proses CBM terletak pada mudahnya membedakan mana band terang vitrinit terkonsentrasi. Komponen-komponen *band* terang ini memberikan karakteristik patahan batubara yang merupakan tanda dari permeabilitas yang baik.

3.1.3 Analisa Batubara

Analisa batubara untuk bahan bakar dibagi menjadi dua golongan yaitu analisa proksimat (moisture, ash, volatile matter, dan fixed carbon) serta analisa ultimat (karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen).

3.1.3.1 Analisa Proksimat

Hasil dari analisa proksimat memberikan gambaran banyaknya senyawa organik ringan (volatile matter) secara relatif, karbon dalam bentuk padatan (fixed carbon), kadar air (moisture), dan zat anorganik (ash), hingga mencakup keseluruhan komponen batubara, yakni batubara murni ditambahkan bahan-bahan pengotornya (impurities).

a. Kandungan Air (Moisture Content)

Kandungan air (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* (standar ISO) atau *air-dry loss* (standar ASTM). *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, di dalam standar ASTM, air ini disebut *moisture* bawaan (*inherent moisture*). Semakin tinggi kandungan *inherent moisture* maka semakin rendah peringkat batubara tersebut.

Kandungan air total (*inherent moisture*, *free moisture*, dan air kristal maupun senyawa karbon) dapat memberikan efek merugikan. Dalam penggerusan, kelebihan kandungan air akan berakibat pada komponen mesin penggerus karena abrasi. Parameter lain yang terpengaruh oleh kandungan air adalah nilai kalor. Semakin besar kadar air yang terkandung oleh batubara maka akan semakin besar pula nilai kalor yang dibutuhkan dalam proses pembakaran.

b. Kandungan Abu (Ash Content)

Kandungan Abu didefinisikan sebagai zat organik yang tertinggal setelah sampel batubara dibakar (*incineration*) dalam kondisi standar sampai diperoleh berat yang tetap. Selama pembakaran batubara, zat mineral mengalami perubahan, karena itu banyak *ash* umumnya lebih

kecil dibandingkan dengan banyaknya zat mineral yang semula ada di dalam batubara. Hal ini disebabkan antara lain karena menguapnya air konstitusi (hidratasi) dan lempung, karbon dioksida serta karbonat, teroksidasinya pirit menjadi besi oksida, dan juga terjadinya fiksasi belerang oksida.

Abu merupakan komponen *non-combustible organic* yang tersisa pada saat batubara dibakar. Abu mengandung oksida-oksida logam seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO , yang terdapat di dalam batubara.

Dalam pembakaran, semakin tinggi kandungan abu batubara, semakin rendah panas yang diperoleh dari batubara tersebut, selain itu semakin tinggi kadar abu, penanganan dan pembuangan *ash* hasil pembakaran akan semakin sulit.

c. Kandungan Zat Terbang (Volatile Matter)

Zat terbang (Volatile matter) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Zat terbang yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan, serta sebagian kecil uap yang dapat mengembun seperti tar, hasil pemecahan termis seperti karbon dioksida dari karbonat, sulfur dari pirit, dan air dari lempung.

Kandungan zat terbang (volatile matter) berhubungan erat dengan proses pematubaraan (coalification) dan dijadikan sebagai indeks

klasifikasi batubara. Menurut klasifikasi ASTM, batubara bituminus diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Batubara dengan kandungan zat terbang rendah 14% - 22%
2. Batubara dengan kandungan zat terbang sedang 22% - 31%
3. Batubara dengan kandungan zat terbang tinggi diatas 31%

d. Kandungan Karbon Tertambat (Fixed Carbon)

Karbon tertambat (Fixed Carbon) menyatakan 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.

Karbon tertambat : $100\% - (\text{Kandungan air} + \text{Kandungan abu} + \text{kandungan zat terbang})$

Karbon tertambat merupakan ukuran dan padatan yang dapat terbakar yang masih berada dalam peralatan pembakaran setelah zat-zat mudah menguap yang ada dalam batubara keluar.

e. Nilai Kalor (Calorific Value)

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. Peringkat batubara akan naik jika nilai kalornya makin tinggi.

3.1.3.2 Analisa Ultimat

Komponen organik batubara terdiri atas senyawa kimia yang terbentuk dari hasil ikatan antara karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen dan sulfur. Analisa Ultimat adalah analisa dalam penentuan jumlah unsur Karbon (Carbon atau C), Hidrogen (Hydrogen atau H), Oksigen (Oxygen atau O), Nitrogen (Nytrogen atau N) dan Sulfur (Sulphur atau S). Analisa ultimat merupakan analisa kimia untuk mengetahui persentase dari masing-masing senyawa.

a. Karbon dan Hidrogen

Karbon dan hidrogen dalam batubara merupakan senyawa kompleks hidrokarbon yang dalam proses pembakaran akan membentuk CO_2 dan H_2O . Selain dari karbon, mineral karbonat juga akan membebaskan CO_2 selama proses pembakaran batubara berlangsung, sedangkan H_2O diperoleh dari air yang terikat pada lempung. Analisa ini sangat penting untuk menentukan proses pembakaran, terutama untuk penyediaan jumlah udara yang dibutuhkan.

b. Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat sebagai senyawa organik. Tidak dikenal adanya mineral pembawa nitrogen dalam batubara, hanya ada beberapa senyawa nitrogen dalam air kapiler, terutama dalam batubara muda. Pada pembakaran batubara, nitrogen akan berubah menjadi nitrogen oksida yang bersama gas buangan akan bercampur dengan udara. Senyawa ini merupakan pencemar udara

sehingga batubara dengan kadar nitrogen rendah lebih disukai. Dalam pembakaran pada suhu tinggi, nitrogen akan diubah menjadi NO_x yang merupakan salah satu senyawa pencemar udara.

c. Sulfur

Dalam proses pembakaran, sulfur dalam batubara akan membentuk oksida yang kemudian terlepas ke atmosfer sebagai emisi. Ada tiga jenis sulfur yang terikat dalam batubara, yaitu :

1. Sulfur organik, di mana satu sama lain terikat ke dalam senyawa hidrogen sebagai substansi dari batubara.
2. Mineral sulfida, seperti pirit dalam fraksi organik (pyritic sulfur).
3. Mineral sulfat, seperti kalsium sulfat atau *hydrous iron*.

Sulfur kemungkinan merupakan pengotor utama nomor dua (setelah abu) dalam batubara, karena :

1. Dalam batubara bahan bakar, hasil pembakarannya mempunyai daya korosif dan sumber polusi udara.
2. *Moisture* dan sulfur (terutama sebagai pirit) dapat menunjang terjadinya pembakaran spontan.
3. Semua bentuk sulfur tidak dapat dihilangkan dalam proses pencucian.

d. Oksigen

Oksigen merupakan komponen pada beberapa senyawa organik dalam batubara. Oksigen ini terdapat pula dalam *moisture*, lempung, karbonat, dan sebagainya. Oksigen juga memiliki peranan penting

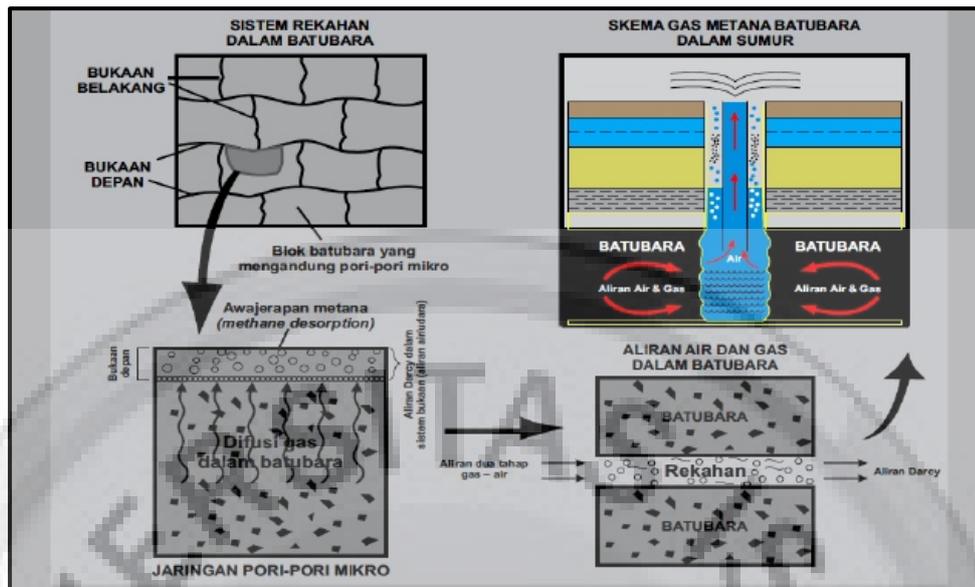
sebagai penunjuk sifat-sifat kimia dengan derajat pembentukan batubara.

Unsur oksigen dapat ditemukan hampir pada semua senyawa organik dalam batubara. Dalam batubara kering unsur oksigen akan ditemukan pada besi oksida, hidroksida dan beberapa mineral sulfat. Oksigen juga sebagai indikator dalam menentukan peringkat batubara.

3.1.4 Batubara Sebagai Batuan Induk dan Reservoir

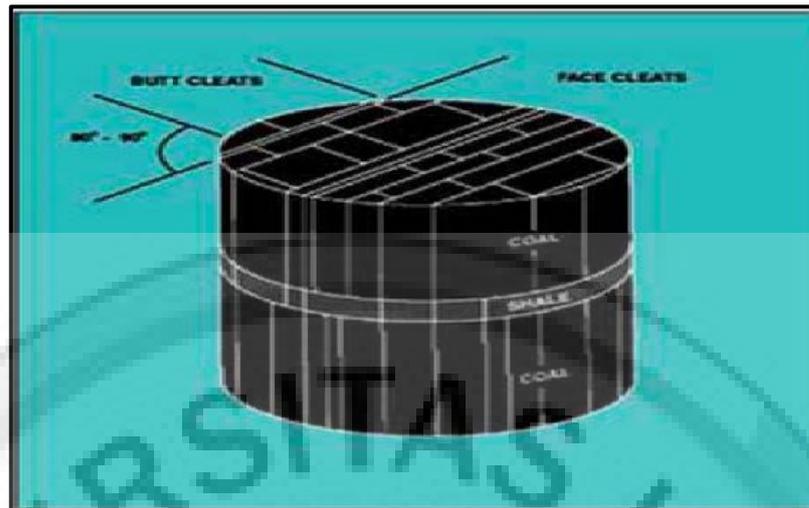
Lapisan batubara dapat sekaligus menjadi batuan induk dan reservoir. Karena itu gas metana batubara dapat diproduksi secara insitu yang tersimpan pada rekahan (macropore), mesopore, atau *micropore*. Gas tersimpan pada rekahan dan system pori sampai terjadi perubahan tekanan pada reservoir oleh adanya air. Saat itulah gas kemudian keluar melalui matriks batubara dan mengalir melalui rekahan sampai yang terjadi pada saat pembatubaraan terjadi karena memadatnya batubara oleh pengaruh tekanan dan temperature (devolatilization).

Bertambahnya peringkat batubara mengakibatkan air dalam batubara keluar dan membentuk rekahan-rekahan. Rekahan tersebut umumnya orthogonal dan hampir tegak lurus dengan perlapisan. Rekahan yang dipengaruhi oleh tektonik tidak ada bedanya dengan rekahan dari proses pembatubaraan.



Gambar 3.2
Skematik gas metana dari matriks menuju sumur (USGS, 2006)

Secara geometri rekahan pada batubara dibagi menjadi dua yaitu *face cleat*, yaitu rekahan yang bersifat lebih menerus, sebagai rekahan primer, dengan bidang rekahan tegak lurus dengan bidang pada sumur dan *butt cleat*, yaitu rekahan yang kurang menerus karena dibatasi oleh *face cleat*. Bidang rekahan ini tegak lurus dengan *face cleat*. Keberadaan sistem rekahan pada batubara (*cleat*) sangat penting untuk dipelajari, karena permeabilitas ditentukan olehnya. Walaupun batubara mempunyai porositas yang besar, tetapi sistem rekahan merupakan jalan utama alamiah bagi gas dan air. Rekahan-rekahan pada batubara tersebut dapat terbentuk bersamaan dengan proses pembatubaraan atau karena adanya pengaruh tektonik.



Gambar 3.3
Geometri rekahan batubara (USGS, 2006)

Rekahan batubara juga mempunyai komponen lain selain *face* dan *butt cleat*, yaitu bukaan yang dimensi celah yang terbuka dalam rekahan tersebut, dan spasi yang merupakan dimensi jarak antar-rekahan. Rekahan yang bukaannya terisi oleh mineral akan cenderung menghambat gas keluar dibandingkan dengan rekahan yang terbuka. Rekahan yang terisi ini mengurangi permeabilitas dari batubara. Spasi dari bukaan dalam rekahan batubara dipengaruhi oleh peringkat batubara, tebal lapisan, dan maseral. Spasi dan bukaan rekahan batubara berkurang dari peringkat batubara subbituminous hingga medium-low *volatile* bituminous, kemudian bertambah lagi pada peringkat batubara antrasit. Keadaan temperatur, rekahan-rekahan yang ada cenderung mengecil. Tebal lapisan batubara mempengaruhi perkembangan rekahan. Pada lapisan batubara yang tipis, rekahan umumnya berkembang dibandingkan pada lapisan batubara yang tebal. Lapisan batubara berciri mengkilap (kilap gelas), biasanya dibentuk

oleh maseral yang kaya vitrinit, sehingga mempunyai rekahan yang banyak dibandingkan pada batubara yang kurang mengkilap (dull).

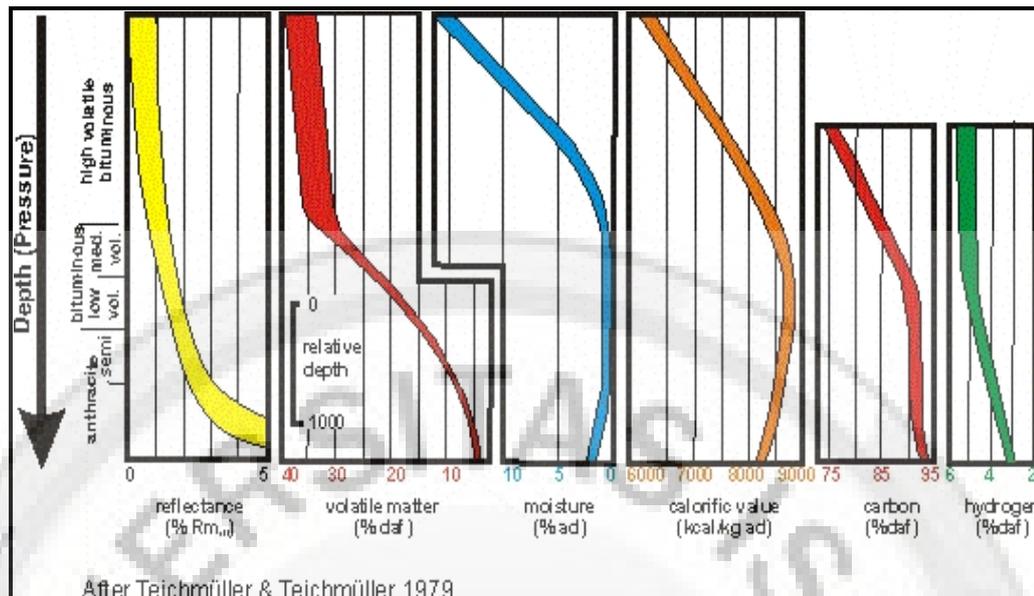
3.2 Gas Metana Batubara

3.2.1 Pembentukan Gas Metana

Gas Metana Batubara atau dikenal dengan istilah *Coal Bed Methane* (CBM) adalah gas methane yang terbentuk dalam lapisan batubara. CBM ini merupakan salah satu fraksi gas dari *Coal Bed Gas* (CBG), yaitu gas alam yang terjadi di dalam lapisan batubara atau diproduksi dari suatu lapisan batubara. Gas dalam lapisan batubara biasanya terdiri dari Methane (CH_4), *carbon dioxide* (CO_2), Nitrogen (N_2) dan air (H_2O) (Thomas, 2002). CBM sering juga disebut *sweet gas* dikarenakan oleh rendahnya kandungan *hydrogen sulfide*.

Berbeda dengan gas alam konvensional yang terjadi dalam reservoir batupasir, yang berada dalam bentuk gas bebas dalam ruang pori diantara butiran pasir, CBG hadir dalam mikropori batubara dalam bentuk terkondensasi hampir seperti bentuk cair karena serapan fisika dari batubara.

Pembentukan gas dalam batubara terbentuk sejak proses *coalification*, yaitu proses pembentukan batubara di mana material organik yang ada mengalami perubahan sebagai akibat dari tekanan dan temperatur sehingga berubah menjadi gambut, lignit, subbituminous, bituminous hingga antrasit.



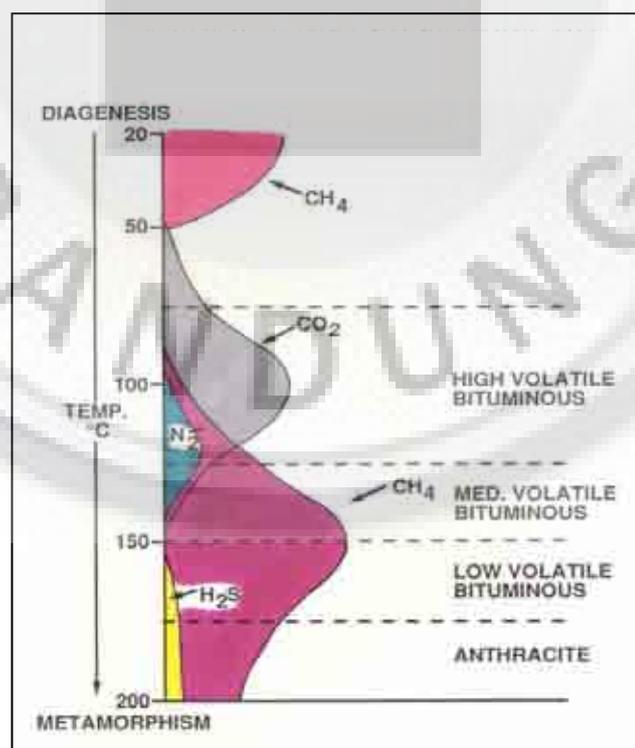
Gambar 3.4
Perubahan Properties Batubara

Gas dalam batubara terbentuk dengan dua cara yaitu secara *biogenic* dan *thermogenic*.

- a. **Biogenic Gas** terutama dalam bentuk CH_4 dan CO_2 . Gas-gas ini dihasilkan dari penguraian bahan organik oleh mikroorganisme yang biasa terbentuk di rawa gambut sebagai cikal bakal terbentuknya batubara. *Biogenic gas* bisa terjadi pada dua tahap yaitu tahap awal dan tahap akhir dari proses pembatubaraan (coalification). Pembentukan gas pada tahap awal diakibatkan oleh aktivitas organisme awal *coalification*, dari gambut – lignit hingga subbituminus ($R_o < 0.5\%$). Pembentukan gas ini harus disertai dengan proses pengendapan yang cepat, karena kalau tidak, gas akan menjadi gas bebas yang menguap ke atmosfer. Pembentukan gas pada tahap akhir juga diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme, tapi setelah lapisan batubara terbentuk. Batubara

pada umumnya merupakan akuifer. Aktivitas mikro organisme dalam akuifer bisa memproduksi gas . Proses ini bisa terjadi pada setiap peringkat (rank) batubara.

- b. **Thermogenic gas** adalah gas yang dihasilkan dalam proses pematubaraan (coalification) pada batubara yang mempunyai peringkat (rank) lebih tinggi, yaitu pada *subbituminous A – high volatile bituminous* keatas ($R_o > 0.6\%$). Proses pematubaraan akan menghasilkan batubara yang lebih kaya akan karbon dengan membebaskan sejumlah zat terbang utama, yaitu CH_4 , CO_2 dan air. Gas-gas tersebut terbentuk secara cepat sejak *rank* batubara mencapai *high volatile bituminous* hingga mencapai puncaknya di *low volatile bituminous* ($R_o = 1.6\%$).



Gambar 3.5.
Pembentukan Gas dalam hubungannya dengan temperature



Gambar 3.6.
Jumlah relatif gas yang dihasilkan (Faiz, 2004)

3.3 Parameter Potensi Gas Metana

Gas bisa tersimpan dalam mikropori batubara karena batubara mempunyai kapasitas serap (adsorption capacity), besar kecilnya kapasitas serap di dalam batubara dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tekanan, temperatur, kandungan mineral, kandungan air, peringkat batubara, komposisi maseral batubara.

- a. **Tekanan**, makin besar tekanan maka kapasitas serapan juga makin besar, tapi ketika mendekati batas jenuh kecepatannya makin berkurang. Apabila tekanan berkurang maka kecepatan pelepasan gas makin besar (desorption). Oleh karena itu dengan meningkatnya kedalaman maka kandungan gas dalam batubara akan makin besar. Di dekat permukaan hingga kedalaman tertentu (sekitar 300 m) di

mana tekanannya kecil, gas-gas akan gampang terbebas ke atmosfer karena kapasitas serapan gas dari batubara terbatas. Biasanya potensi gas terdapat pada kedalaman yang cukup untuk mencapai tekanan optimal.

- b. Temperatur**, makin tinggi temperatur, kapasitas serapan semakin kecil atau mempertinggi desorpsi gas. Temperatur sangat penting untuk menentukan batas bawah potensi gas, yang tergantung pada gradien geotermal.
- c. Kandungan Mineral (Mineral Matter)**, *Coal Bed Gas* hanya terikat pada fraksi organik dari batubara. Sementara di dalam batubara terdapat pengotor dalam berbagai bentuk yang biasanya disebut *mineral matter*. Dalam analisa kimia dapat dilihat dari kandungan abu dan sulfurnya. *Mineral matter* dapat menempati ruang yang seharusnya bisa dipakai untuk menempelnya gas dalam mikropori batubara. Makin tinggi kandungan *mineral matter*, makin kecil kapasitas serapan gasnya. Dalam menghitung kapasitas serapan batubara, kandungan *mineral matter* ini harus diperhitungkan.
- d. Kandungan Air (Moisture)**, pada prinsipnya kandungan air dalam batubara mempunyai sifat yang sama dengan *mineral matter* dalam kaitannya dengan kapasitas serapan gas dalam batubara. Jadi makin tinggi kandungan air dalam batubara maka makin kecil kapasitas serapan gasnya. Dalam perhitungan kandungan gas dalam batubara, faktor kandungan air harus diperhatikan.

e. Peringkat Batubara, dalam proses pematubaraan (coalification) gas-gas CH_4 , CO_2 , Nitrogen (N_2) dan air akan terbentuk. Metana (CH_4) akan terbentuk dengan kecepatan yang makin tajam ketika proses pematubaraan bergerak dari batubara *high volatile bituminous* ke batubara *low volatile bituminous*. Sedangkan CO_2 , walaupun sangat mungkin akan terserap ke dalam batubara, gas ini akan mudah terlarut dalam air sehingga CO_2 akan terbang bersama air sewaktu proses *dewatering*. Nitrogen yang mempunyai daya serap rendah akan mudah dilepaskan/dibebaskan. Sebagai akibat dari itu semua maka CH_4 menjadi komponen utama gas dalam batubara.

Apabila peringkat batubara (coal rank) meningkat maka kapasitas penyimpanan gas akan meningkat juga. Sehingga pada peringkat batubara yang lebih tinggi kemungkinan besar mempunyai kapasitas serapan gas yang lebih besar.

f. Komposisi Maseral Batubara, banyaknya kandungan gas dalam batubara juga dipengaruhi oleh komposisi maseral dalam batubara. Exinite atau liptinit (tipe II dari organik matter) yang banyak mengandung hidrogen akan paling banyak menghasilkan gas metana disusul dengan vitrinit (tipe III organik matter).

Batubara Indonesia yang sebagian besar berumur Tersier umumnya didominasi oleh maseral vitrinit (85-95%) dengan komponen liptinit yang lebih besar daripada inertinit. Dengan demikian ada

kemungkinan batubara Tersier Indonesia mempunyai potensi untuk menghasilkan gas yang besar.

g. Rekahan (kekar dalam batubara) Merupakan Faktor Utama Penentu Permeabilitas Lapisan

Kekar dalam batubara atau yang biasa disebut dengan *cleat*, memiliki peranan yang sangat besar dalam mempengaruhi kapasitas gas yang dihasilkan. Walaupun batubara mempunyai porositas yang besar tetapi permeabilitas lapisan terutama ditentukan oleh sistem rekahan (*cleat*) dalam lapisan batubara.

Sistem rekahan ini merupakan jalan utama alamiah gas dan air sehingga bisa mempengaruhi ekonomis tidaknya suatu program pengembangan eksplorasi gas dalam batubara.

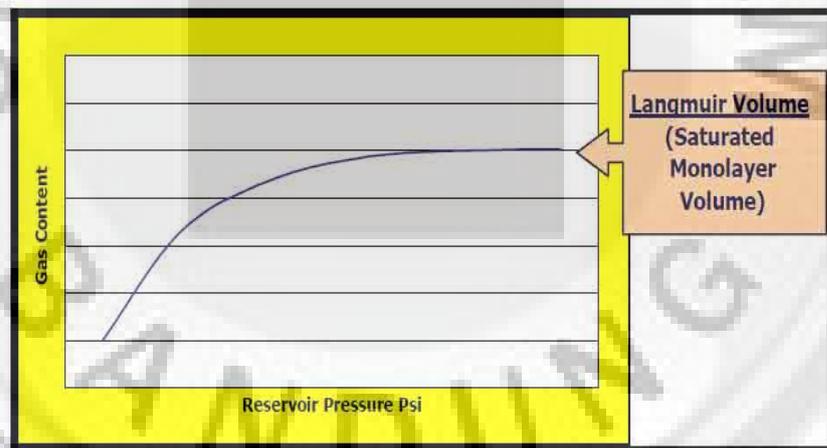
Spasi rekahan dipengaruhi oleh :

- Peringkat Batubara: spasi rekah berkurang dari *subbituminous* hingga *medium-low volatile bituminous* dan naik lagi ke antrasit. (Rekah terbanyak pada tingkatan *medium-low volatile bituminus*).
- Tebal Lapisan Batubara : spasi rekah membesar dengan tebal lapisan batubara (rekah berkembang pada lapisan yang tipis).
- *Lithotype* : rekah terbanyak biasanya terdapat pada lapisan yang *vitreous* – mengkilap (*glassy*), ini biasanya dibentuk oleh maseral yang kaya vitrinit (*vitrain* dan *clarain*). Rekah juga bisa ditemukan dilapisan yang *dull* (*fusain* dan *durain*) tetapi kurang berlimpah dibanding lapisan *vitrain* dan *clarain*.

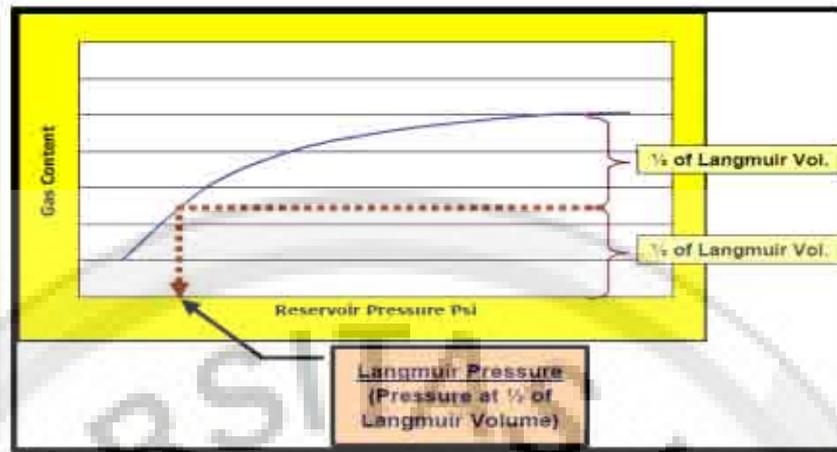
- *Stress regional* juga mempengaruhi banyak sedikitnya rekah.
- Spasi rekah juga bisa diperkirakan dari nilai HGI (Hardgrove Index), di mana makin tinggi HGI makin kecil spasi rekahnya (makin banyak rekah).

3.4 Kurva Langmuir

Terdapat dua parameter dalam kurva Langmuir Isotermal, yaitu volume Langmuir dan tekanan Langmuir. Volume Langmuir merupakan volume gas maksimal yang dapat diserap sampai perubahan tekanan tidak lagi mempengaruhi kapasitas penyimpanan (Gambar 3.7). Tekanan Langmuir merupakan tekanan pada saat setengah volume Langmuir (Gambar 3.8)



Gambar 3.7
Kurva Langmuir dan parameter volume Langmuir



Gambar 3.8
Kurva Langmuir dan parameter tekanan Langmuir

Nilai parameter Langmuir dapat diperkirakan dari nilai properti batubara. Volume Langmuir mempunyai hubungan langsung dengan nilai reflektansi vitrinit (Reeves dkk, 2005). Semakin tinggi nilai reflektansi vitrinit semakin tinggi pula nilai volume Langmuir dan peringkat batubara, yang mengindikasikan semakin besar kemampuan batubara untuk menyerap gas dan semakin besar nilai volume Langmuir.

3.5 Gas IN Place (GIP)

Perhitungan cadangan *gas in place* di lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui cadangan gas metana yang tersimpan pada lapisan batubara sebagai *reservoir coalbed methane*. Perhitungan dilakukan dengan metode volumetrik yang dikemukakan oleh Mavor dan Nelson (2000; dalam Ariani, 2006). Rumus *Gas In Place* (GIP) pada CBM yaitu :

$$\text{Gas In Place (GIP)} = 1359,7 * A * h * \rho * Gc$$

Keterangan :

A = Luas (Acre)

h = Ketebalan (ft)

ρ = Densitas rata-rata (gr/cm³)

Gc = Gas content rata-rata (SCF/ton)

3.6 Perhitungan Sumberdaya

Perhitungan sumberdaya didasarkan atas keyakinan geologi. Pengelompokan tersebut mengandung dua aspek yaitu aspek geologi dan aspek ekonomi.

a. Aspek geologi

Berdasarkan tingkat keyakinan geologi, sumberdaya batubara terukur harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih besar dibandingkan dengan sumberdaya batubara terindikasi.

Tabel 3.2
Jarak Titik Informasi menurut Kondisi Geologi (SNI,2011)

KONDISI GEOLOGI	KRITERIA	SUMBERDAYA		
		terukur	terunjuk	tereka
SEDERHANA	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 300$	$300 < X \leq 500$	$500 < X \leq 1000$
MODERAT	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 200$	$200 < X \leq 300$	$300 < X \leq 800$
KOMPLEKS	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 100$	$100 < X \leq 200$	$200 < X \leq 400$

b. Aspek ekonomi

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

Tabel 3.3
Persyaratan Kuantitatif Ketebalan Lapisan Batubara dan Lapisan Pengotor (SNI,2011)

KETEBALAN	PERINGKAT BATUBARA	
	Batubara coklat (<i>brown coal</i>)	Batubara keras (<i>hard coal</i>)
Lapisan batubara minimal	≥ 1,00 m	≥ 0,40 m
Lapisan pengotor	≤ 0,30 m	≤ 0,30 m

Untuk perhitungan tonase sumberdaya batubara digunakan rumus :

$$W = L \times t \times \rho$$

Keterangan :

W = tonase batubara (ton)

L = luas daerah terhitung (m²)

t = tebal rata-rata batubara (m)

ρ = *density* batubara (ton/m³)