

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Batubara Indonesia

Batubara dikenal dengan sebutan “emas” hitam. Masyarakat mengenalnya sebagai batu hitam yang bisa terbakar. Saat ini, batubara merupakan komoditas energi yang semakin menarik. Batubara adalah campuran yang sangat kompleks dari zat kimia organik yang mengandung karbon, oksigen dan hidrogen dalam sebuah rantai karbon. Menurut Undang-Undang no 4 tahun 2009 tentang mineral dan batubara, batubara merupakan endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan dan bisa terbakar.

2.1.1 Genesa Batubara

Batubara adalah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna cokelat sampai hitam, yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan kandungan karbonnya kaya (Sukandarrumidi, 1995).

Ada 3 hal yang mendasari pembentukan batubara, dimulai dari ketersediaan tumbuhan yang melimpah, tempat pengendapan, seperti rawa yang di dalamnya terdapat organisme anaerob berkembang yang mempercepat pembusukan tumbuhan dan penurunan dasar rawa/cekungan saat pengendapan karena mengalami tekanan dan temperatur selama pengendapan berlangsung. Terdapat dua tahapan penting dalam proses pembentukan batubara, tahap pertama adalah terbentuknya gambut oleh proses microbial dan perubahan kimia. Tahap kedua adalah terbentuknya batubara oleh proses yang terdiri dari perubahan kimia dan fisika (Thomas, 2002).

Batubara berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang disebabkan karena adanya proses-proses geologi, kemudian berbentuk endapan batubara yang dikenal sekarang ini. Bahan-bahan tumbuhan mempunyai komposisi utama yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Selain itu, terdapat kandungan unsur nitrogen. Substansi utamanya adalah selulosa yang merupakan bagian dari selaput sel

tumbuhan yang mengandung karbohidrat yang tahan terhadap perubahan kimiawi. Pembusukan dari bahan tumbuhan merupakan proses yang terjadi tanpa adanya oksigen, kemudian berlangsung di bawah air yang disertai aksi dari bakteri, sehingga terbentuklah arang kayu. Tidak adanya oksigen menyebabkan hidrogen lepas dalam bentuk karbon dioksida atau karbon monoksida dan beberapa dari keduanya berubah menjadi metan. Vegetasi pada lingkungan tersebut mati kemudian terbentuklah *peat* (gambut). Kemudian gambut tersebut mengalami kompresi dan pengendapan di antara lapisan sedimen dan juga mengalami kenaikan temperatur, ada tiga hal yang mempengaruhi temperatur pada proses pembatubaraan, yaitu *geothermal gradient*, *igneous intrusion* dan *tectonic activity*. Akibat proses tersebut maka akan terjadi pengurangan porositas dan pengurangan *moisture* sehingga terlepasnya senyawa OH, COOH dan CO dalam wujud cair dan gas. Karena banyaknya unsur oksigen dan hidrogen yang terlepas, maka unsur karbon relatif bertambah yang mengakibatkan terjadinya lignit (*brown coal*). Kemudian dengan adanya kompresi yang terus menerus serta kenaikan temperatur, maka terbentuklah batubara sub-bituminus dan bituminus dengan tingkat kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan lignit.

Bumi tidak pernah berhenti berputar, oleh karena itu kompresi terus berlangsung diiringi bertambahnya temperatur sehingga *moisture* sangat sedikit serta unsur karbon yang banyak berubah batubara sebelumnya ke tingkat yang lebih tinggi, yaitu antrasit yang merupakan peringkat tertinggi pada batubara (Cook, 1982).

Menurut Sukandarrumidi (1995), terdapat 2 macam teori mengenai tempat terbentuknya batubara, antara lain:

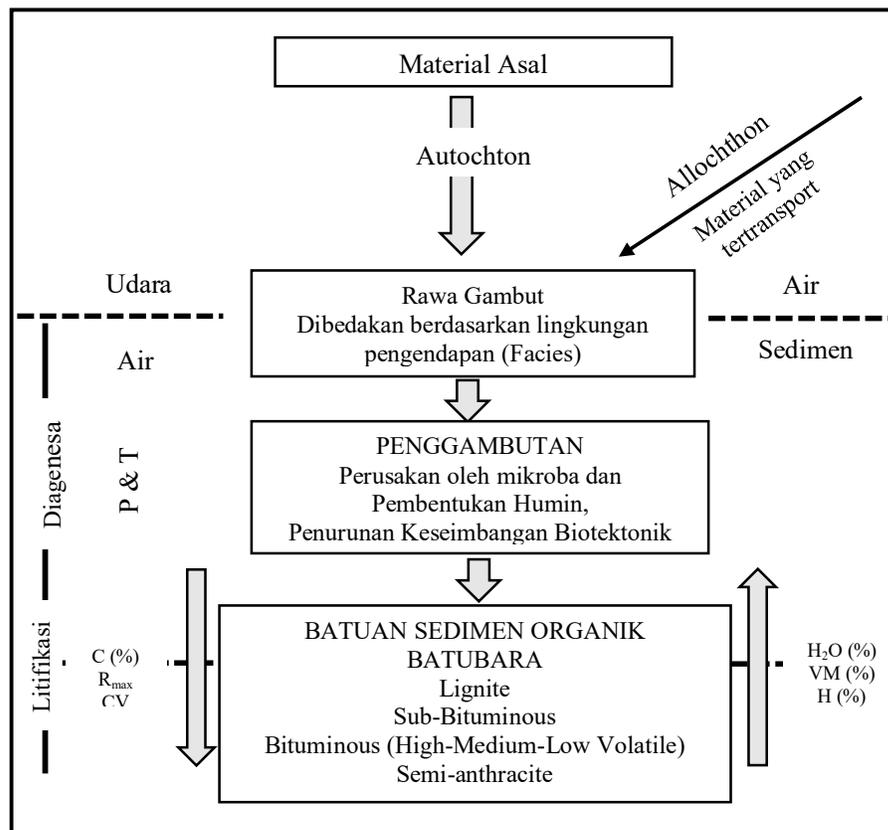
1. Teori Insitu

Teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuknya di tempat di mana tumbuhan-tumbuhan asal itu berada. Dengan demikian maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses

coalification. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil.

2. Teori Drift

Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat 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*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tetapi dijumpai di beberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang tersangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi.



Gambar 2. 1 Skema Pembentukan Batubara (Anggayana, 2002)

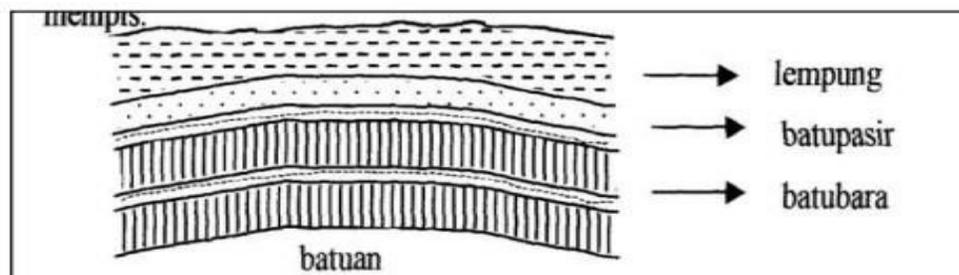
2.1.2 Seam Batubara

Seam batubara adalah lapisan batubara di bawah permukaan tanah. *Seam* merupakan lapisan tunggal yang memiliki batas atas disebut atap (*roof*) dan batas bawah disebut lantai (*floor*). *Seam* batubara jarang terdiri dari batubara murni seluruhnya, biasanya terdapat sisipan seperti lapisan yang tipis dari sedimen (umumnya lanau dan lempung). Sedimen yang terdapat pada *roof* dan *floor* mempunyai hubungan yang erat dengan pengendapan batubara tersebut.

Menurut Sukandarrumidi (1995), bentuk lapisan batubara sangat berpengaruh dalam menghitung cadangan dan merencanakan cara penambangannya, lapisan batubara ditentukan dari bentuk cekungan, proses sedimentasi, proses geologi selama dan sesudah proses *coalification*. Ada beberapa bentuk lapisan batubara diantaranya:

1. Bentuk *Horse Back*

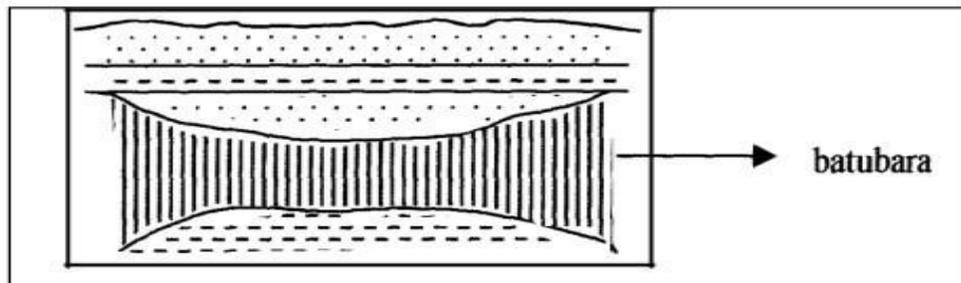
Bentuk ini dicirikan oleh peralihan lapisan batubara dan batuan yang menutupinya melengkung ke arah atas akibat gaya kompresi. Ketebalan ke arah lateral lapisan batubara kemungkinan sama ataupun menjadi lebih kecil atau menipis.



Gambar 2. 2 Lapisan Batubara Bentuk *Horse Back* (Diessel, 1984)

2. Bentuk *Pinch*

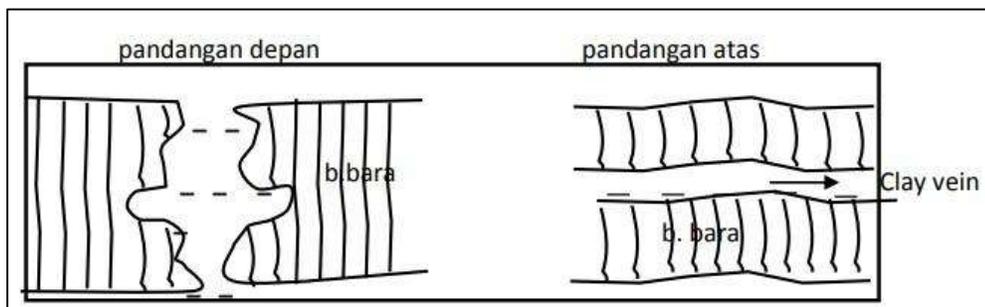
Bentuk ini dicirikan oleh perlapisan yang menipis di bagian tengah. Pada umumnya dasar dari lapisan batubara merupakan batuan yang plastis misalnya batulempung sedang diatas lapisan batubara secara setempat ditutupi oleh batupasir yang secara lateral merupakan pengisian suatu alur.



Gambar 2. 3 Lapisan Batubara Bentuk *Pinch* (Diessel, 1984)

3. Bentuk *Clay Vein*

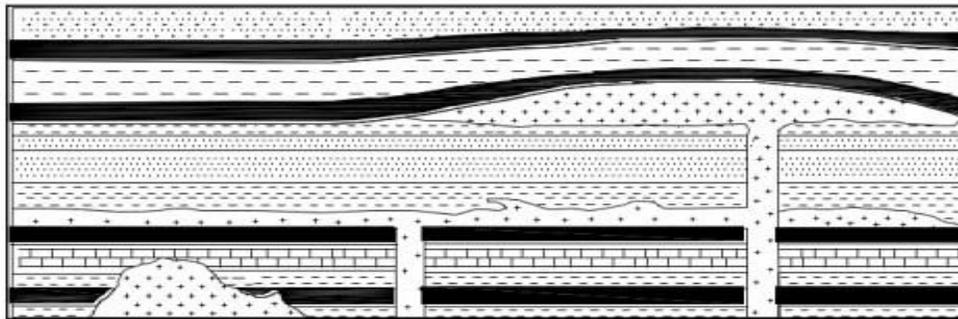
Bentuk ini terjadi apabila diantara dua bagian deposit batubara tersesar, terjadi apabila salah satu deposit batubara mengalami patahan, yang kemudian pada bidang patahan yang merupakan rekahan terbuka, terisi oleh material lempung atau pasir.



Gambar 2. 4 Lapisan Batubara Bentuk *Clay Vein* (Diessel, 1984)

4. Bentuk *Buried Hill*

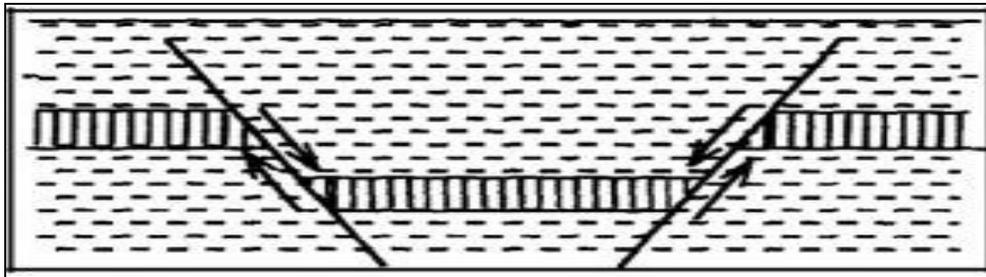
Kontribusi utama dari intrusi batuan beku pada struktur lapisan batubara adalah pemanasan dan efek devolatilisasi (penguapan materi volatile) yang terjadi ketika magma panas membentuk suatu sill atau lakolit di dekat lapisan batubara, atau ketika korok (*dike*) menembus formasi batubara. *Lacolith* dan sill memiliki daerah pengaruh pemanasan yang lebih besar terhadap formasi batuan di sekitarnya dibanding korok. Kualitas batubara atau kandungan karbon akan meningkat dengan semakin dekatnya jarak lapisan batubara terhadap sumber panas. Terjadinya gradasi dalam rank ini adalah disebabkan oleh perbedaan tingkat devolatilisasi yang dipengaruhi oleh panas.



Gambar 2. 5. Intrusi Batuan Beku Pada Lapisan Batubara (Diessel, 1984)

5. Bentuk *Fault*

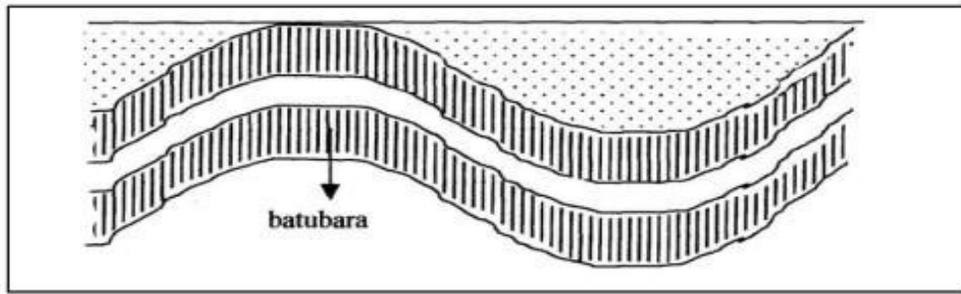
Bentuk ini terjadi apabila di daerah dimana deposit batubara mengalami beberapa seri patahan. Keadaan ini mengacaukan di dalam perhitungan cadangan karena adanya pemindahan per lapisan akibat pergeseran ke arah vertikal.



Gambar 2. 6. Lapisan Batubara Bentuk *Fault* (Diessel, 1984)

6. Bentuk *Folding*

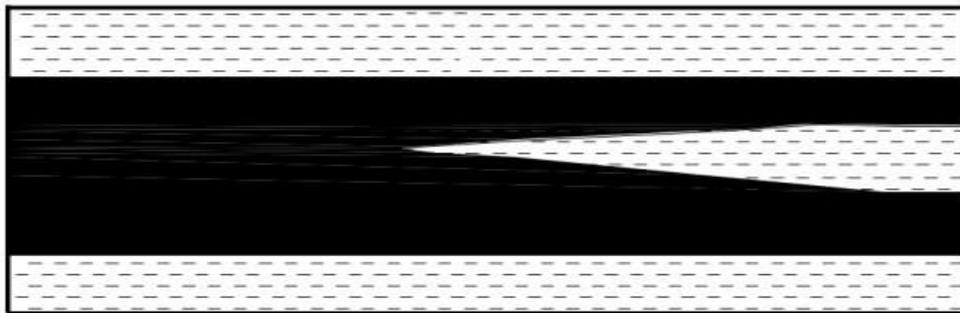
Bentuk ini terjadi apabila di daerah deposit batubara mengalami perlipatan. Makin intensif gaya yang bekerja, pembentukan perlipatan akan makin kompleks.



Gambar 2. 7 Lapisan Batubara Bentuk *Folding* (Diessel, 1984)

7. Bentuk *Split Coal*

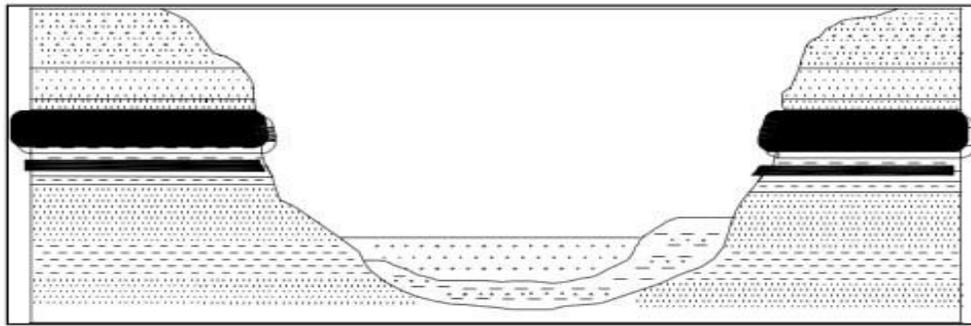
Split coal adalah lapisan batubara yang terpisah oleh parting lempung, serpih, atau sandstone dengan ketebalan tertentu sehingga mengakibatkan lapisan yang terpisah tidak dapat ditambang secara bersamaan.



Gambar 2. 8 *Split* Yang Disebabkan Oleh Lempung (Diessel, 1984)

8. Bentuk *Wash Out*

Wash out adalah adanya *cut out* lapisan batubara. *Cut out* sendiri didefinisikan sebagai batulempung, batuserpih atau batulempung yang mengisi bagian tererosi dalam lapisan batubara (*Dictionary of Geological Term, 3rd edition*) (Stefanko, 1983). *Wash out* adalah hilangnya sebagian atau seluruh lapisan batubara yang kemudian tergantikan oleh endapan sedimen lain akibat adanya erosi dan pengendapan. Hilangnya lapisan batubara tersebut bisa disebabkan oleh pengikisan sungai purba, sungai *recent*, ataupun gletser.



Gambar 2. 9 *Wash Out* Akibat Erosi Sungai (Diessel, 1984)

2.1.3 Klasifikasi Batubara

Untuk pengklasifikasian batubara ada beberapa klasifikasi batubara, namun yang umum digunakan baik oleh perusahaan tambang maupun untuk kepentingan yang bersifat komersial adalah klasifikasi yang dikeluarkan oleh ASTM (American Standard for Testing Materials). Karakteristik utama dari peringkat batubara dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist, [#] Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		Mj/kg ^G		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...
Semianthracite ^D	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^F
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^E	...	32.6	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^E	14 000	30.2	32.6
High volatile C bituminous coal	11 500	13 000	26.7	30.2	} agglomerating
					10 500	11 500	24.4	26.7	
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	10 500	11 500	24.4	26.7	} nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.1	24.4
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.3	22.1
Lignite:									
Lignite A	6 300 ^G	8 300	14.7	19.3	} nonagglomerating
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.7

^AThis classification does not apply to certain coals, as discussed in Section 1.
^BMoist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.
^CMegajoules per kilogram. To convert British thermal units per pound to megajoules per kilogram, multiply by 0.002 326.
^DIf agglomerating, classify in low volatile group of the bituminous class.
^EIt is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in the high volatile C bituminous group.
^FCoals having 69 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.
^GEditorially corrected.

Gambar 2. 10 Klasifikasi Peringkat Batubara Menurut ASTM (Thomas, 2002)

2.1.4 Kualitas Batubara

Kualitas batubara merupakan karakteristik yang didasari oleh sifat kimia dan fisika yang berpengaruh pada pemanfaatan batubara. Karakteristik tersebut digunakan sebagai acuan nilai komersial dan pemanfaatan dari batubara (Thomas, 2002). Dalam kualitas batubara terdiri dari beberapa macam analisis, antara lain analisis proksimat dan analisis ultimat. Pengujian batubara terdiri dari beberapa macam analisis, antara lain analisis proksimat dan analisis ultimat (Arif, 2016).

2.1.4.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kandungan relatif zat terbang (*volatile matter*), kandungan air (*moisture content*), komponen anorganik berupa abu sebagai hasil pembakaran, serta karbon merambat (*fixed carbon*). Analisis proksimat digunakan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan batubara dalam industri pengguna batubara. Analisis proksimat ini mengacu pada standar American Society for Testing and Materials (ASTM) dan terdiri dari:

1. Kadar Air Total (*Total Moisture*)

Kadar air total (*total moisture*) terdiri dari dua jenis, yaitu kandungan air bebas (*free moisture*) dan kandungan air bawaan (*inherent moisture*). Free moisture merupakan air yang menempel di permukaan atau berada di celah rekahan batubara. Kandungan air bebas (*free moisture*) dapat dihilangkan dengan cara mengangin-anginkan batubara pada suhu kamar, contoh ini kemudian disebut *air-dried* sampel. Kandungan air bawaan (*inherent moisture*) adalah kandungan air yang terikat di dalam pori internal batubara dan umumnya terikat bersamaan dengan proses pembatubaraan. Semakin besar *total moisture* di dalam batubara maka semakin kecil calorific value, karena diperlukan kalori untuk penguapan air.

2. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Volatile Matter adalah senyawa organik atau anorganik yang hilang saat kandungan air (*moisture*) dipanaskan pada suhu tinggi dan waktu tertentu. Zat yang hilang ini sebagian besar terdiri dari gas yang mudah menguap bila dipanaskan, seperti hidrogen, karbon dioksida, dan metana.

3. Kadar Abu (*Ash*)

Abu yang terkandung dalam batubara merupakan senyawa anorganik yang terkandung pada batubara sejak proses pembentukan atau terbawa pada saat proses penambangan. Abu batubara adalah residu yang dihasilkan setelah batubara dibakar sempurna. Semakin tinggi kandungan abu, semakin rendah kualitas batubara. Kandungan abu yang tinggi berarti nilai kalorinya lebih rendah (kandungan energi per ton batubara).

4. Kadar Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Karbon tertambat (*fixed carbon*) merupakan banyaknya karbon yang tersisa setelah *moisture*, *volatile matter*, dan *ash* dihilangkan. Nilai *fixed carbon* akan meningkat seiring meningkatnya peringkat batubara.

5. *Relative Density In-situ* (RDI)

Densitas suatu material didefinisikan sebagai massa per satuan volume dengan satuan kg/m^3 . Densitas Relatif (*Relative Density*) adalah perbandingan relatif antara massa jenis suatu zat dengan massa jenis air murni pada temperatur 5°C (1.0 g/cm^3).

Relative Density merupakan parameter penting yang harus dipahami dalam estimasi nilai *relative density in-situ* yang akan digunakan dalam estimasi cadangan batubara. Penentuan nilai *relative density in-situ* dalam perhitungan cadangan memiliki peran yang penting terutama pada sumber daya batubara dengan peringkat rendah.

6. *Hardgrove Grindability Index* (HGI)

HGI (*Hardgrove Grindability Index*) adalah parameter yang menyatakan tingkat kemudahan batubara untuk digerus. Semakin tinggi nilai HGI semakin mudah batubara digerus. Selain itu, HGI dapat mengetahui tingkat kekerasan batubara yang dimana apabila semakin rendah nilai HGI maka semakin keras batubara atau tidak mudah digerus.

7. *Calorific Value* (CV)

Calorific Value atau nilai kalori merupakan indikasi kandungan nilai energi yang diperoleh pada proses pembakaran batubara dan mempresentasikan kombinasi pembakaran dari karbon, hidrogen, nitrogen, serta sulfur.

2.1.4.2 Analisis Ultimat

Analisis ultimat merupakan analisis yang dilakukan untuk menentukan kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) dalam batubara. Kandungan karbon, hydrogen, dan oksigen penting untuk menilai karakteristik pengkokasan, gasifikasi, dan likuifaksi batubara. Sedangkan nitrogen dan sulfur merupakan faktor penting yang memiliki potensi pencemaran yang ditimbulkan dari

pemanfaatan batubara. Analisis ultimat juga bisa menentukan peringkat batubara dalam pengklasifikasiannya. Analisis ultimat yang dilakukan mengacu pada standar American Society for Testing and Materials (ASTMD3176-09). Analisis ultimat terdiri dari:

1. Kadar Karbon dan Hidrogen

Batubara terdiri dari senyawa kompleks dari karbon dan hidrogen yang kemudian membentuk senyawa hidrokarbon.

2. Kadar Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat dalam bentuk senyawa organik. Biasanya senyawa nitrogen terdapat dalam kapiler air sehingga umumnya hanya terdapat di batubara muda.

3. Kadar Belerang Total

Di dalam batubara belerang atau sulfur mempunyai tiga bentuk, yaitu:

- a. Sebagai sulfur organik, yaitu sulfur terkait pada senyawa hidrokarbon di dalam batubara;
- b. Sebagai material sulfida, yaitu sulfur yang berada di dalam material anorganik, contohnya pirit;
- c. Sebagai material sulfat, yaitu yang dihasilkan dari proses oksidasi mineral sulfida dengan batuan udara.

Batubara dengan kadar sulfur yang tinggi tidak terlalu disukai. Selain bisa menimbulkan pencemaran udara bila bereaksi dengan oksigen, sulfur dapat menyebabkan korosi pada alat.

4. Kadar oksigen

Oksigen di batubara terkandung pada senyawa organik, karbonat, lempung, *moisture*, dan lain-lain. Oksigen memiliki peranan dalam penentuan derajat pembentukan batubara. Oksigen juga berperan penting dalam proses gasifikasi dan likuifaksi batubara untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon.

2.1.4.3 Basis Analisis Data Kualitas

Dalam pengujian contoh dikenal istilah basis. Basis digunakan sebagai persepsi umum yang luas sehingga antara penjual dan pembeli

batubara saling memahami nilai hasil uji. Basis dalam analisis untuk batubara terdiri dari lima macam dengan penggunaan yang bisa saling dikonversi. Basis data dalam analisis uji parameter batubara terdiri dari AR, ADB, D, DMMF, dan DAF.

1. *As Received* (AR)

As received merupakan suatu basis yang didasarkan pada kondisi dimana batubara diasumsikan seperti dalam keadaan diterima. Analisis pada basis ini masih memiliki air yang terkandung di batubara yang berasal dari proses pembentukan maupun yang diakibatkan oleh hujan, proses pencucian (*coal washing*), atau penyemprotan (*spraying*) ketika di *stockpile* dan saat *loading*.

2. *Air Dried Basis* (ADB)

Air dried basis merupakan suatu basis yang dinyatakan pada contoh batubara dengan kandungan air dalam kesetimbangan dengan lingkungan ruangan laboratorium. Secara teknis, uji dan analisis dilakukan menggunakan contoh yang telah dikeringkan pada udara terbuka, yaitu sampel ditebar tipis pada suhu ruangan sehingga terjadi kesetimbangan dengan lingkungan ruangan laboratorium sebelum akhirnya diuji dan dianalisis.

3. *Dried Basis* (DB)

Dried based merupakan suatu analisis yang didasarkan pada kondisi batubara diasumsikan bebas air total. Tampilan *dry basis* menunjukkan bahwa hasil uji dan analisis menggunakan sampel uji yang telah dikeringkan di udara terbuka.

4. *Dried Mineral Matter Free Basis* (DMMF)

Dried mineral matter free merupakan suatu analisis yang dinyatakan pada kondisi dimana batubara diasumsikan bebas air total dan bahan mineral. DMMF dapat diartikan sebagai pure coal basis yang berarti batubara diasumsikan dalam keadaan murni dan tidak mengandung air, abu, dan zat mineral lain.

5. *Dried Ash Free Basis* (DAF)

Dried ash free basis merupakan suatu analisis yang dinyatakan pada kondisi dimana batubara diasumsikan bebas air total dan kadar abu. *Dry ash free basis* merupakan kondisi asumsi uji dengan batubara sama sekali tidak mengandung air dan abu. Adanya tampilan *dry ash free basis* menunjukkan bahwa hasil analisis dan uji terhadap sampel yang telah dipanaskan (air habis) serta tanpa abu.

2.2 Kegiatan Eksplorasi Batubara

Eksplorasi adalah kegiatan untuk mengetahui potensi sumber daya mineral atau bahan galian lain yang ada, serta mengidentifikasi kendala alami maupun lingkungan yang mungkin ada di kemudian hari (Irwandi Arif,2014).

2.2.1 Tahapan Eksplorasi Batubara

Tahap eksplorasi batubara umumnya dilaksanakan melalui empat tahap, yakni survei tinjau, prospeksi, eksplorasi pendahuluan, dan eksplorasi rinci. Tujuan penyelidikan geologi ini adalah untuk mengidentifikasi keterdapatan, keberadaan, ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas, serta kualitas suatu endapan batu bara sebagai dasar analisis/kajian kemungkinan dilakukannya investasi. Tahap penyelidikan tersebut menentukan tingkat keyakinan geologi dan kelas sumber daya batu bara yang dihasilkan. Penghitungan sumber daya batubara dilakukan dengan berbagai metoda diantaranya *circular* USGS 1983, penampang, isopach, inverse distance, geostatistik, dan lain-lain (SNI 13-5014-1998).

2.2.1.1 Survei Tinjau (*Reconnaissance*)

Survei tinjau merupakan tahap eksplorasi batu bara yang paling awal dengan tujuan mengidentifikasi daerah–daerah yang secara geologis mengandung endapan batu bara yang berpotensi untuk diselidiki lebih lanjut serta mengumpulkan informasi tentang kondisi geografi, tata guna lahan, dan kesampaian daerah. Keegiatannya, antara lain, studi geologi regional, penafsiran penginderaan jauh, metode tidak

langsung lainnya, serta inspeksi lapangan pendahuluan yang menggunakan peta dasar dengan skala sekurang-kurangnya 1:100.000.

2.2.1.2 Prospeksi (*Prospecting*)

Tahap eksplorasi ini dimaksudkan untuk membatasi daerah sebaran endapan batu bara yang akan menjadi sasaran eksplorasi selanjutnya. Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini, di antaranya, pemetaan geologi dengan skala minimal 1:50.000, pengukuran penampang stratigrafi, pembuatan paritan, pembuatan sumuran, pemboran uji (*scout drilling*), pencontohan, dan analisis. Metode eksplorasi tidak langsung, seperti penyelidikan geofisika, dapat dilaksanakan apabila dianggap perlu.

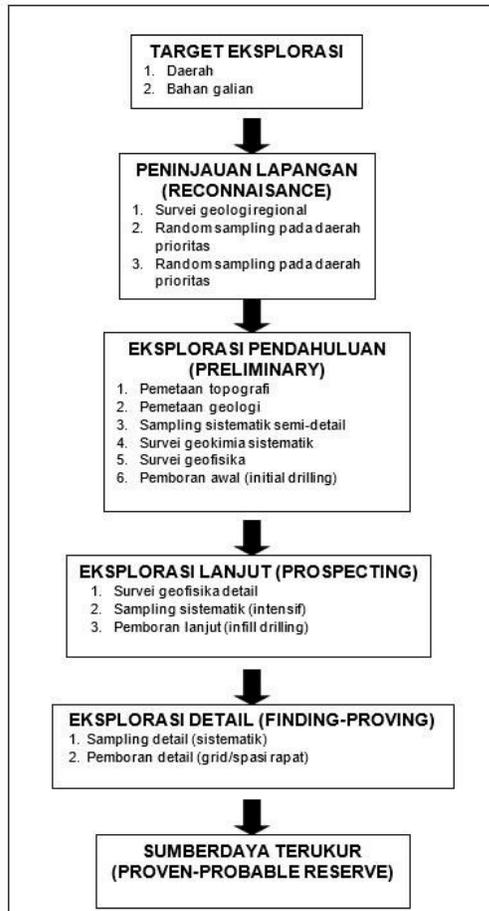
2.2.1.3 Eksplorasi Pendahuluan (*Preliminary Exploration*)

Tahap eksplorasi ini dimaksudkan untuk mengetahui gambaran awal bentuk tiga-dimensi endapan batu bara yang meliputi ketebalan lapisan, bentuk, korelasi, sebaran, struktur, kuantitas dan kualitas. Kegiatan yang dilakukan antara lain, pemetaan geologi dengan skala minimal 1:10.000, pemetaan topografi, pemboran dengan jarak yang sesuai dengan kondisi geologinya, penampangan (*logging*) geofisika, pembuatan sumuran/paritan uji, dan percontohan yang andal. Pengkajian awal geoteknik dan geohidrologi dimulai dapat dilakukan.

2.2.1.4 Eksplorasi Rincian (*Detailed exploration*)

Tahap eksplorasi ini dimaksudkan untuk mengetahui kuantitas dan kualitas serta model tiga-dimensi endapan batu bara secara lebih rinci. Kegiatan yang harus dilakukan adalah pemetaan geologi dan topografi dengan skala minimal 1:2.000, pemboran dan percontohan yang dilakukan dengan jarak yang sesuai dengan kondisi geologinya, penampangan (*logging*) geofisika, serta pengkajian geohidrologi dan geoteknik. Pada tahap ini perlu dilakukan penyelidikan pendahuluan pada batu bara, batuan, air dan lainnya yang dipandang perlu sebagai

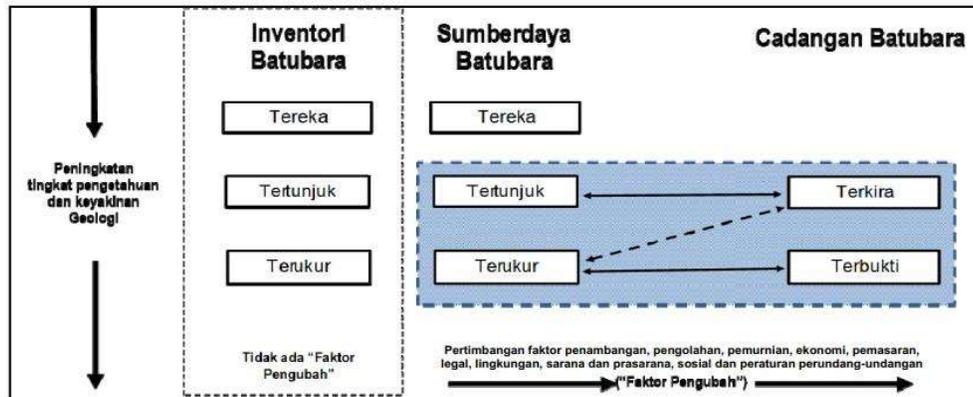
bahan pengkajian lingkungan yang berkaitan dengan rencana kegiatan penambangan yang diajukan.



Gambar 2. 11 Tahapan Kegiatan Eksplorasi (Arif, 2014)

2.3 Sumber Daya Batubara

Sumber daya batubara adalah bagian dari batubara dalam bentuk dan kuantitas tertentu serta mempunyai prospek beralasan yang memungkinkan untuk ditambang secara ekonomis, dengan ketentuan lokasi, kualitas, kuantitas karakteristik geologi dan kemenerusan dari lapisan batubara yang telah diketahui, diperkirakan atau diinterpretasikan dari bukti geologi tertentu.



Gambar 2. 12 Klasifikasi Sumber Daya (SNI 5015;2019)

Sumber daya batubara dibagi sesuai dengan tingkat kepercayaan geologi ke dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur. (SNI 5015:2019). Menurut tingkat keyakinan geologi sumber daya terbagi atas 3 kategori, yaitu:

1. Sumber Daya Batubara Tereka (*Inferred Coal Resource*)

Sumber daya batubara tereka adalah bagian dari estimasi sumber daya batubara total yang kualitas dan kuantitasnya hanya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang rendah. Titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya. Estimasi dari kategori kepercayaan ini dapat berubah secara berarti dengan eksplorasi lanjut.

2. Sumber Daya Batubara Terunjuk (*Indicated coal resource*)

Bagian dari estimasi sumber daya batubara total yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang beralasan, didasarkan pada informasi yang didapatkan dari titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung. Titik pengamatan yang ada cukup untuk menginterpretasikan kemenerusan lapisan batubara, tetapi tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya.

3. Sumber Daya Batubara Terukur (*Measured Coal Resource*)

Bagian dari estimasi batubara total yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan tinggi, didasarkan pada informasi yang

didapat dari titik pengamatan yang diperkuat dengan data pendukung. Titik pengamatan jaraknya cukup berdekatan untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya.

Menurut SNI 5015:2019, berdasarkan proses sedimentasi dan pengaruh tektonik, karakteristik geologi tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama: kelompok geologi sederhana, kelompok geologi moderat, dan kelompok geologi kompleks. Ketiga tingkat kompleksitas geologi ini dapat terjadi di daerah tertentu. Uraian tentang batasan umum untuk tiap-tiap kelompok tersebut beserta tipe lokalitasnya adalah sebagai berikut:

a. Kelompok Geologi Sederhana

Endapan batubara dalam kelompok ini umumnya tidak dipengaruhi secara signifikan oleh lipatan, sesar, dan intrusi. Lapisan batubara pada umumnya landau, menerus secara lateral sampai ribuan meter, dan hampir tidak mempunyai pencabangan. Ketebalan lapisan batubara secara lateral dan kualitasnya tidak memperlihatkan variasi yang signifikan.

b. Kelompok Geologi Moderat

Batubara dalam kelompok ini diendapkan dalam kondisi sedimentasi yang lebih bervariasi sampai tingkat tertentu dan telah mengalami pengaruh tektonik pasca proses pengendapan, ditandai oleh adanya perlipatan dan sesar. Kelompok ini dicirikan pula oleh kemiringan lapisan yang sedang dan variasi ketebalan lateral yang sedang serta munculnya pencabangan lapisan batubara, namun sebarannya masih dapat diikuti sampai ratusan meter. Kualitas batubara dapat dipengaruhi secara langsung berkaitan dengan tingkat perubahan yang terjadi baik pada saat proses sedimentasi maupun pasca pengendapan. Pada beberapa tempat intrusi batuan beku mempengaruhi struktur lapisan dan kualitas batubaranya.

c. Kelompok Geologi Kompleks

Batubara kelompok ini umumnya diendapkan dalam kondisi sedimentasi yang kompleks atau telah mengalami deformasi tektonik yang ekstensif yang mengakibatkan terbentuknya lapisan batubara dengan ketebalan yang beragam. Kualitas batubaranya banyak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan yang

terjadi pada saat proses sedimentasi berlangsung atau pasca pengendapan seperti percabangan atau kehilangan lapisan (*wash out*). Pengelompokan kondisi geologi batubara dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tipe Endapan Batubara berkaitan dengan Sedimentasi, Tektonik, dan Variasi Kualitas (SNI 5015;2019)

Parameter	Kondisi Geologi		
	Sederhana	Moderat	Kompleks
I.A. Sedimentasi			
1. Variasi ketebalan	sedikit bervariasi	bervariasi	sangat bervariasi
2. Kesenambungan	ribuan meter	ratusan meter	puluhan meter
3. Percabangan	hampir tidak ada	beberapa	banyak
I.B. Tektonik			
1. Sesar	tidak ada	jarang	rapat
2. Lipatan	ada, landai	terlipat sedang	terlipat kuat
3. Intrusi	tidak ada	berpengaruh	sangat berpengaruh
4. Kemiringan	landai	sedang	terjal
II. Variasi kualitas	sedikit bervariasi	bervariasi	sangat bervariasi

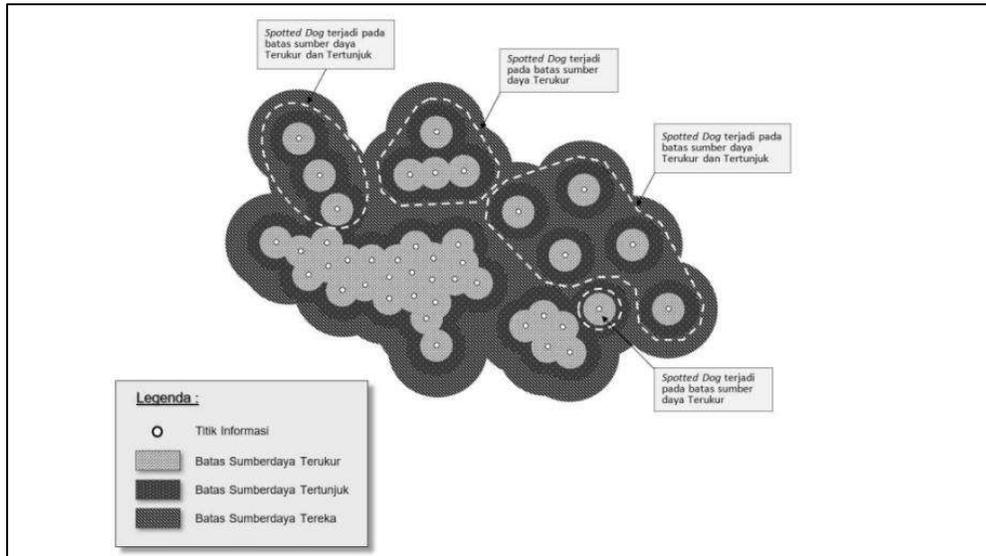
Tingkat keyakinan geologi tersebut secara kuantitatif dicerminkan oleh jarak titik informasi (sumur uji, lubang bor). Jarak titik informasi menurut kondisi geologi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Jarak Titik Pengamatan Menurut Kondisi Geologi (SNI 5015;2019)

Kondisi Geologi	Kriteria	Sumber daya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik pengamatan (m)	$1.000 < x \leq 1.500$	$500 < x \leq 1.000$	$x \leq 500$
Moderat	Jarak titik pengamatan (m)	$500 < x \leq 1.000$	$250 < x \leq 500$	$x \leq 250$
Kompleks	Jarak titik pengamatan (m)	$250 < x \leq 500$	$100 < x \leq 250$	$x \leq 100$

Dari jarak titik pengamatan terdapat titik yang terisolasi atau dua titik yang terhubung atau titik-titik dalam satu garis yang menunjukkan kontinuitas kedua arah dikenal sebagai spotted dog. Spotted dog adalah klasifikasi sumber daya yang

tidak tepat dalam mengestimasi sumber daya terukur, tertunjuk dan tereka berdasarkan lingkaran pengaruh yang terputus di sekitar masing-masing titik pengamatan atau di sepanjang garis titik pengamatan.

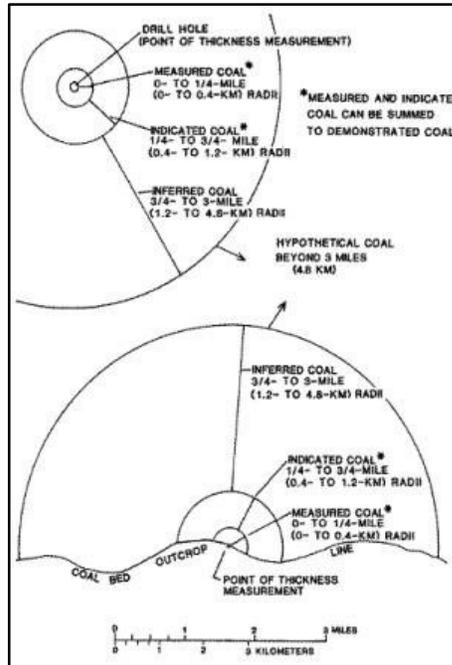


Gambar 2. 13 Spotted Dog (SNI 5015;2019)

2.4 Metode Circular USGS 1983

Estimasi sumber daya dan cadangan batubara merupakan hal yang sangat penting dalam kegiatan eksplorasi. Dalam hal ini penulis menggunakan metode *circular USGS (United States Geological Survey) 1983* dimana metode ini merupakan metode konvensional dengan menggunakan nilai titik data sebagai sentral data untuk mewakili area pengaruh. Dalam metode *circular USGS 1983* pada suatu area yang berada di tengah-tengah poligon *circular* yang sering disebut daerah pengaruh (*area influence*) dengan membagi dua antara jarak satu titik dengan titik lainnya dan menarik garis sehingga membentuk suatu batas-batas area pengaruh untuk setiap titik. Sebagai satu poligon memiliki kadar dan ketebalan yang konstan dengan kualitas serta ketebalan titik bor yang berada di dalam area pengaruh (poligon). Dalam estimasi sumber daya menggunakan metode *circular USGS 1983* dengan menentukan batas-batas untuk setiap area titik bor kemudian menghitung luasan area pengaruh dan dikalikan dengan ketebalan setiap titik bor akan didapatkan volume dari setiap area pengaruh untuk mendapatkan jumlah

tonase dari batubara volum batubara dikalikan dengan nilai densitas batubara. Estimasi metode *circular* USGS 1983 yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan jarak titik informasi berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia) sebagai pembatas untuk setiap sumber daya dengan nilai *boundary* sesuai dengan kondisi geologi.



Gambar 2. 14 Metode Circular USGS 1983 (Wood., et al., 1983)

Estimasi sumber daya dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$T = L \times t \times D \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.5.1}$$

Keterangan:

T = Tonase Batubara (ton)

t = Tebal batubara (m)

D = Densitas batubara (ton/m³)

L = Luas area batubara (m²)

Kemiringan lapisan batubara juga memberikan pengaruh dalam estimasi sumberdaya batubara. Bila lapisan batubara memiliki kemiringan yang berbeda-beda, maka estimasi dilakukan secara:

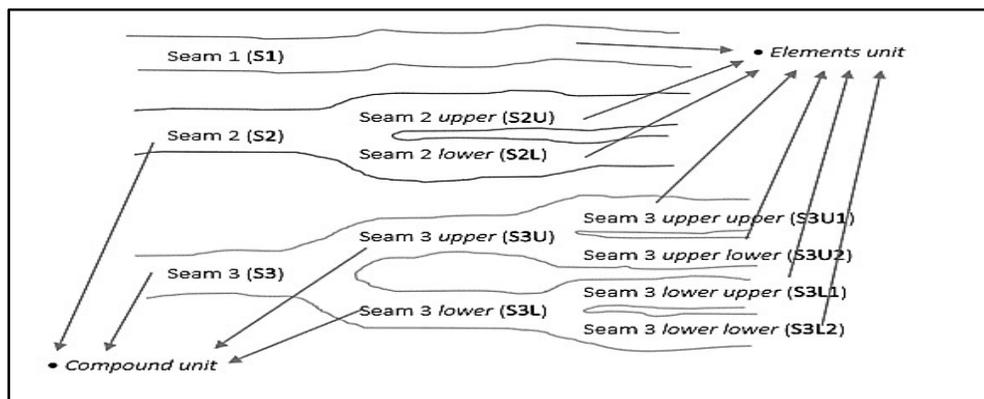
1. Kemiringan 0° - 10° Estimasi tonase dilakukan langsung dengan menggunakan rumus tonase
2. Kemiringan 10° - 30° Estimasi tonase dilakukan dengan membagi nilai luas area batubara dengan nilai cosinus kemiringan lapisan batubara.
3. Kemiringan $>30^{\circ}$ Estimasi tonase dilakukan dengan mengkalikan nilai luas area batubara dengan nilai cosinus kemiringan lapisan batubara.

2.5 Pemodelan Geologi Menggunakan Stratmodel

Stratmodel merupakan salah satu aplikasi pada *MineScope* yang dirancang untuk membuat dan mengolah model 2D/3D untuk suatu endapan geologi yang berlapis contohnya batubara. stratmodel didasarkan pada prinsip umum stratigrafi terutama urutan lapisan yang diendapkan pada suatu periode tertentu yang menerus dan selaras. Setiap litologi dan kondisi geologi dalam pemodelan perlu didefinisikan dalam suatu pengaturan pemodelan yang disebut *schema* (Muhlis, 2019). Kondisi geologi yang perlu didefinisikan di dalam *schema* contohnya adalah:

1. *Compound* dan *elemental unit*

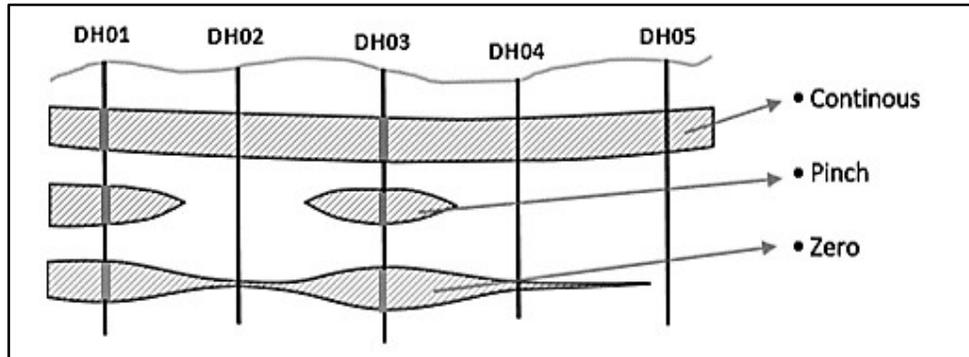
Tab *elements* digunakan dalam menentukan urutan lapisan (stratigrafi) pada model, sedangkan tab *compound* digunakan untuk menentukan percabangan lapisan (*split*) menjadi dua atau lebih percabangan (Gambar 2.13).



Gambar 2. 15 Pendefinisian Compound Dan Elemental Unit *Seam* Batubara (Muhlis, 2019)

2. Kontinuitas

Kontinuitas (Gambar 2.16) merupakan parameter untuk menentukan kemenerusan interval, jenis jenisnya antara lain:

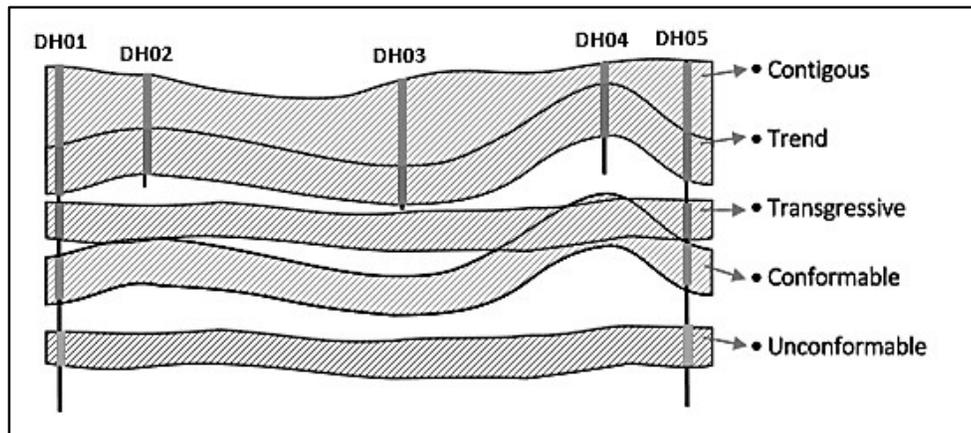


Gambar 2. 16 Pendefinisian kontinuitas *Seam* batubara (Muhlis, 2019)

- *Continuous* : Membuat *interval* (lapisan pada *MineScape*) menerus dengan ketebalan data terakhir, walaupun menemui data bor yang tidak memiliki data *interval* tersebut.
- *Pinch* : Membuat *interval* terputus (tidak menerus) saat menemui data bor yang tidak memiliki data *interval* tersebut.
- *Zero* : Membuat *interval* bernilai nol saat menemui data bor yang tidak memiliki data *interval* tersebut, namun kemenerusan tetap muncul berbentuk tipis sampai hilang jika jarak sudah terlalu jauh.

3. Keselarasan

Relationship atau keselarasan (Gambar 2.17) merupakan parameter untuk menentukan hubungan *interval* (lapisan pada *MineScape*), antara lain:



Gambar 2. 17 Pendefinisian Keselarasan *Seam* Batubara (Muhlis, 2019)

- *Conformable* : Mempunyai struktur yang sama (selaras) dengan lapisan yang dianggap sebagai *trend* sehingga dua *interval* dipisahkan oleh *interburden* dan tidak saling berpotongan.
- *Nonconformable* : Mempunyai struktur yang tidak sama (tidak selaras) dengan lapisan yang dianggap sebagai *trend*, sehingga model tidak dipengaruhi oleh lapisan sekitarnya.
- *Transgressive* : Tidak berhubungan dengan keselarasan *interval*, sehingga lapisan dapat memotong lapisan lain.
- *Contiguous* : Hubungan dimana *floor* dari *interval* tersebut merupakan *roof* dari *interval* di bawahnya, sehingga kedua *unit* tidak dipisahkan oleh *interburden*.