

Eksplorasi Geologi Batubara

by Basuki Rahmad

Submission date: 02-Apr-2023 04:22PM (UTC+0700)

Submission ID: 2053329660

File name: Eksplorasi_Geologi_Batubara__Full_1.pdf (3.88M)

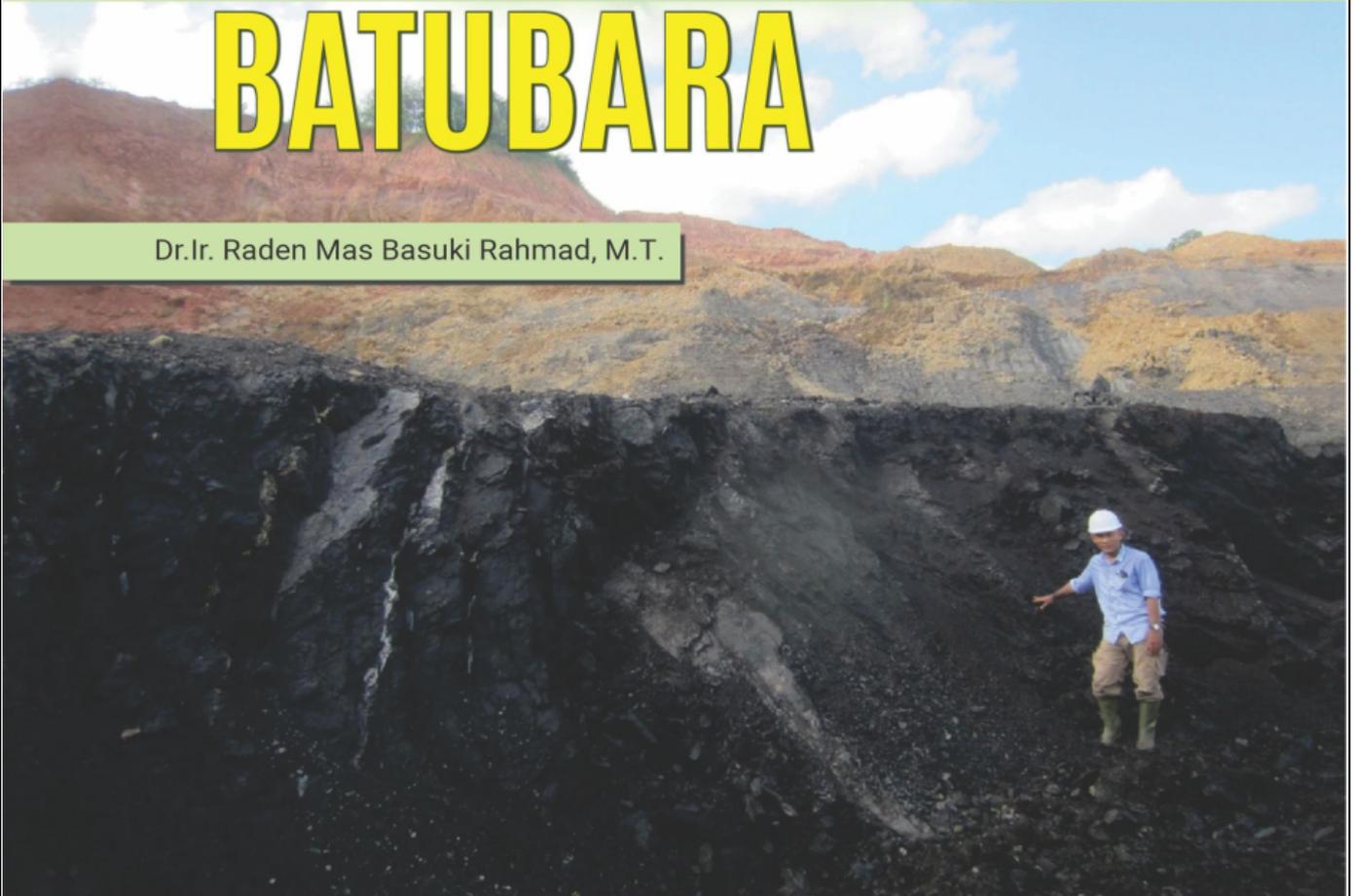
Word count: 15061

Character count: 97504



EKSPLORASI GEOLOGI BATUBARA

Dr.Ir. Raden Mas Basuki Rahmad, M.T.



Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Yogyakarta
2022

**EKSPLORASI GEOLOGI
BATUBARA**

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

EKSPLORASI GEOLOGI BATUBARA

Dr. Ir. Raden Mas Basuki Rahmad, M.T.



EKSPLORASI GEOLOGI BATUBARA

Raden Mas Basuki Rahmad

Desain Cover :

Penulis

Sumber :

Penulis

Tata Letak :

Titis Yuliyanti

Proofreader :

Meyta Lanjarwati

Ukuran :

xii, 77 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :

978-623-02-5433-8

Cetakan Pertama :

November 2022

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2022 by Deepublish Publisher

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH

(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt., sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan buku ini. Maksud penyusunan buku ini adalah untuk memberikan gambaran tentang pentingnya memahami konsep eksplorasi geologi batu bara sebagai bahan pertimbangan dalam persiapan sebelum dan selama kegiatan eksplorasi batu bara dilaksanakan. Buku ini disusun untuk melengkapi buku ke-1 dengan menambahkan data lapangan selama penulis melakukan penelitian geologi batu bara di daerah Sangatta, Kalimantan Timur.

Penulis selalu terbuka menerima kritik dan saran demi kesempurnaan dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat.

Yogyakarta, September 2022

Penulis
Dr. Ir. Basuki Rahmad, M.T.

Daftar Isi

Pengantar	v
Daftar Isi.....	vi
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
1 EKSPLORASI GEOLOGI BATU BARA	1
1.1 PENDAHULUAN.....	1
1.2 PROGRAM EKSPLORASI BATU BARA.....	4
1.2.1 Sifat Dasar Program Eksplorasi	6
1.2.2 Rancangan Program Eksplorasi.....	6
1.3 TAHAPAN EKSPLORASI BATU BARA.....	8
1.3.1 Tahap 1. Pra-Eksplorasi/Survei Tinjau	9
1.3.2 Tahap 2. Penilaian Regional Daerah yang Prospek.....	11
1.3.3 Tahap 3. Eksplorasi Pendahuluan	14
1.3.4 Tahap 4. Eksplorasi Rinci	16
1.3.5 Tahap 5. Perencanaan Tambang	19
1.4 METODE EKSPLORASI BATU BARA.....	20
1.4.1 Metode Eksplorasi Tidak Langsung.....	21
1.4.2 Metode Eksplorasi Langsung	22
1.5 MODEL GEOLOGI BATU BARA.....	23
1.5.1 Model Cekungan Batu Bara Indonesia	23
1.5.1.1 Paleogene Syn-Orogenic Coal Deposits in Fore Arc Basin	24
1.5.1.2 Paleogene Syn-Rifting Coal Deposits	24
1.5.1.3 Neogen Syn-Orogenic Regression Related Coal Deposits	25
1.6 MODEL SEDIMENTASI BATU BARA.....	28

1.7	MODEL GEOMETRI BATU BARA.....	31
1.7.1	Kajian Teori Struktur Geologi Lapisan Batu Bara	31
1.7.1.1	Faktor Syn-Depositional.....	31
1.7.1.2	Faktor Mikro-Struktur	32
1.7.1.3	Faktor Makro-Struktur	33
1.7.1.4	Post-Depositional.....	36
1.7.2	Kajian Sedimentasi Batu Bara terhadap Pembentukan <i>Splitting</i> Batu Bara.....	46
1.7.3	Kajian Sedimentasi Batu Bara terhadap Pembentukan <i>Washout</i> Batu Bara	48
1.8	PENGAMATAN BATU BARA.....	49
2	KUALITAS BATU BARA.....	53
2.1	PENDAHULUAN.....	53
2.1.1	Basis Data	54
2.2	SIFAT KIMIA BATU BARA.....	55
2.3	ANALISIS PROKSIMAT.....	56
2.3.1	Total Moisture.....	56
2.3.2	<i>Ash</i> (Abu)	58
2.3.3	Volatile Matter.....	60
2.3.4	<i>Fixed Carbon</i> (Karbon Tetap)	62
2.4	ANALISIS ULTIMAT.....	62
2.4.1	Karbon dan Hidrogen.....	62
2.4.2	Oksigen	63
2.4.3	Nitrogen	64
2.4.4	Sulfur	64
2.5	ANALISIS NILAI KALORI.....	65
2.6	SIFAT FISIKA BATU BARA.....	66
2.6.1	Density.....	66
2.6.2	Grindability	67
2.6.3	Abrasion Index.....	68
2.6.4	Particle Size Distribution.....	68
2.7	ANALISIS LAIN DALAM PEMANFAATAN BATU BARA.....	69

2.7.1	Chlorine.....	69
2.7.2	Fosfor	69
2.7.3	Analisis Abu (<i>Ash</i>)	70
2.7.4	<i>Ash Fusion Temperature</i> (Temperatur Leleh Abu)	71
2.7.5	<i>Trace Elements</i> (Unsur-Unsur Jejak)	72
3	Pustaka	74
	Tentang Penulis	76

Daftar Tabel

Tabel 1.	Korelasi litotipe menurut Stopes, 1919, dengan penggunaan batu bara di Australia (Modifikasi Diessel, 1965); dalam Bustin dkk., 1983.	51
Tabel 2.	Basis uji & analisis serta singkatan yang dipakai (Ward, 1984)	55
Tabel 3.	Pengelompokan batu bara bituminus berdasarkan kandungan zat terbang (%).....	61

Daftar Gambar

Gambar 1.	Tahapan Eksplorasi dan Laju Investasi (Modifikasi Eimon (1988) dalam Evans (1995))	3
Gambar 2.	Grafik (R-T) menunjukkan hubungan antara tingkat risiko (R) dengan tahap pengembangan mineral (T) (Sudradjat, 1999)	4
Gambar 3.	Bagan Alir Tahapan Eksplorasi Batu Bara.....	9
Gambar 4.	Contoh Detail Log <i>Seam</i> Batu Bara (Ward, 1984).....	16
Gambar 5.	Tiga model tatanan stratigrafi-tektonik cekungan endapan batu bara di Indonesia (Koesoemadinata, 2002).....	28
Gambar 6.	Penampang progradasi sistem deltaik dan pengendapan batubara di lingkungan Delta Plain di Lower Kutai Basin (Allen et al., 1998) dan gambar perkembangan progradasi Delta Sangatta Kalimantan Timur (Rahmad, B., 2001).....	30
Gambar 7.	Model Pengendapan Coal Swamp (a) di Delta Plain, Lower Kutai Basin (Allen et al., 1998) and (b) Sangatta Deltaik (Rahmad, B., 2001).....	31
Gambar 8.	Struktur deformasi akibat pembebanan sedimen menghasilkan <i>distorted</i> dan <i>dislocated bedding</i> terhadap lapisan batu bara (Thomas, 2005)	32
Gambar 9.	Ketidakstabilan cekungan batu bara di beberapa tempat, menyebabkan reaktivasi kembali sesar normal half graben, terjadi	

	longsor gravity sliding (slumping) (Thomas, 2005)	33
Gambar 10.	Menjelaskan kemungkinan terbentuknya <i>splitting</i> lapisan batu bara yang disebabkan perubahan pergerakan sesar selama pengendapan gambut berlangsung (Thomas, 2005)	34
Gambar 11.	Sesar normal di lapisan batu bara (Thomas, 2005)	36
Gambar 12.	Zona sesar di <i>high wall</i> tambang terbuka (Thomas, 2005)	37
Gambar 13.	Sesar <i>Lag Fault</i> di Atas <i>Thrust Fault</i> (Thomas, 2005)	38
Gambar 14.	Pergeseran lapisan batu bara akibat <i>reverse fault</i> (Thomas, 2005)	39
Gambar 15.	Pembentukan <i>shear</i> yang kuat dan berkembang menjadi zona thrust fault terhadap seam lapisan batu bara (Thomas, 2005)	40
Gambar 16.	Empat tahap model " <i>progressive easy-slip thrusting</i> " (perkembangan sistim <i>thrust-slip</i>) (Thomas, 2005)	40
Gambar 17.	Sedimen pembawa batu bara yang mengalami perlipatan (Thomas, 2005)	41
Gambar 18	(A) Deformasi tektonik karena gaya kompresi dan (B) Gaya kompresi terhadap lapisan batu bara di sepanjang perlapisan batupasir (Thomas, 2005)	43
Gambar 19.	Lipatan asimetri, berupa sinklin dan antiklin <i>steeply</i> dan <i>thrust fault</i> (Thomas, 2005)	44
Gambar 20.	Lipatan asimetri, berupa sinklin dan antiklin <i>steeply</i> dan <i>thrust fault</i> (Fadilah, 2005)	44

Gambar 21.	Pembentukan sesar naik melalui proses lipatan (Fadilah, 2005).....	45
Gambar 22.	Model pembentukan lipatan diikuti oleh penebalan dan penipisan di beberapa bagian lipatan (Fadilah, 2005).....	45
Gambar 23.	Model pembentukan sesar mendatar yang diikuti oleh seretan dan perubahan arah kedudukan lapisan (Fadilah, 2005).....	46
Gambar 24.	Model pembentukan <i>splitting</i> lapisan batubara di daerah Sangatta Deltaik (Diessel, 1992; Rahmad, B., 2001)	47
Gambar 25.	Bentuk umum <i>splitting seam</i> batu bara (Thomas, 2005) A. <i>Simple Splitting</i> , B. <i>Multiple Splitting</i> dan C. Bentuk <i>Splitting "Z"</i> atau "S"	47
Gambar 26.	Pemotongan <i>channel</i> terhadap <i>seam</i> batu bara (Thomas, 2005).....	49
Gambar 27.	<i>Channel washout</i> pada lapisan batu bara (Rahmad, B., 2001).....	49
Gambar 28.	Contoh pengamatan singkapan batu bara (koleksi penulis)	52

1

EKSPLORASI GEOLOGI BATU BARA

1.1 PENDAHULUAN

Konsep eksplorasi adalah runtunan pemikiran yang sistematis, di mana kita menentukan dulu apakah yang menjadi objek dari pencarian itu atau jenis bahan galian apa yang akan kita cari serta kondisi geologi yang bagaimana bahan galian tersebut bisa dicari. Dengan demikian kita bisa menentukan cara yang efisien dengan menggunakan urutan tahapan metode, program eksplorasi, teknologi eksplorasi dan biaya investasi yang dikeluarkan.

Eksplorasi dapat dibagi menjadi sejumlah tahapan yang saling berkesinambungan dan berurutan yang melibatkan biaya pengeluaran yang semakin meningkat serta risiko yang semakin berkurang dan berdasarkan tingkat pengetahuan geologi (Gambar 1 dan 2). Istilah ini digunakan untuk menggambarkan bahwa tahapan tersebut adalah beragam. Istilah yang telah diterima secara luas digunakan sebagai tahap awal eksplorasi yaitu tahap perencanaan dan penyelidikan pendahuluan.

Tahapan tersebut mencakup tahapan seleksi target daerah untuk eksplorasi rinci. Tahap perencanaan mencakup seleksi komoditas, jenis endapan, metode eksplorasi dan lingkungan sebagai organisasi eksplorasi (Evans, 1995).

Program eksplorasi batu bara sudah harus dirumuskan tentang bagaimana model geologi dan faktor-faktor geologi apa saja yang mengendalikan ketersediaan batu bara.

Dalam merencanakan program eksplorasi maka kita harus punya konsep berpikir dengan pertanyaan-pertanyaan seperti berikut.

- a. Bahan galian apa yang dicari? (jawab: batu bara)
- b. Di mana harus mencarinya? (Jawab: tatanan geologi, model geologi)
- c. Bagaimana cara mencarinya? (Jawab: program, pentahapan, metode eksplorasi, tingkat pengetahuan geologi)

Dengan demikian konsep eksplorasi batu bara ini menyangkut perumusan sasaran (target) eksplorasi. Sasaran/target eksplorasi batu bara sering ditentukan berdasarkan keadaan perekonomian seperti jumlah cadangan, kualitas batu bara seperti *calorific value*, *ash content*, *sulfur content* dsb., harga pasar, perkembangan teknologi pertambangan dan permintaan pasar.

Batu bara sangat sensitif terhadap spesifikasi yang diminta pasaran, terutama kualitas dan kuantitas. Selain itu tergantung pula dari produksi dan cadangan yang tersedia serta metode penambangan. Maka di sini spesifikasi endapan batu bara yang diperlukan adalah seperti berikut.

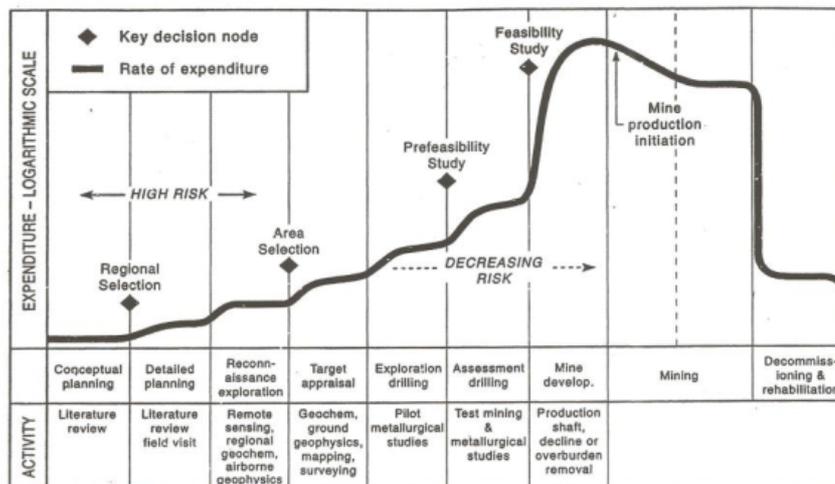
- a. Kualitas: yang dikehendaki (*Calorific Value*/CV, kadar abu, belerang, dsb.)
- b. Kuantitas: minimum cadangan yang diminta yang menyangkut keekonomian serta investasi yang diperlukan.
- c. Metode penambangan: tambang terbuka atau tambang dalam, menyangkut biaya produksi dan harga jual batu bara di pasaran.

Eksplorasi dapat didefinisikan sebagai teknologi untuk menemukan bahan galian baru, termasuk di dalamnya adalah aktivitas dan evaluasi yang diperlukan sebelum keputusan berikutnya diambil, melalui suatu pentahapan. Tujuan eksplorasi adalah menemukan dan mendapatkan bahan galian baru yang telah memenuhi syarat-syarat operasi penambangan secara ekonomi baik

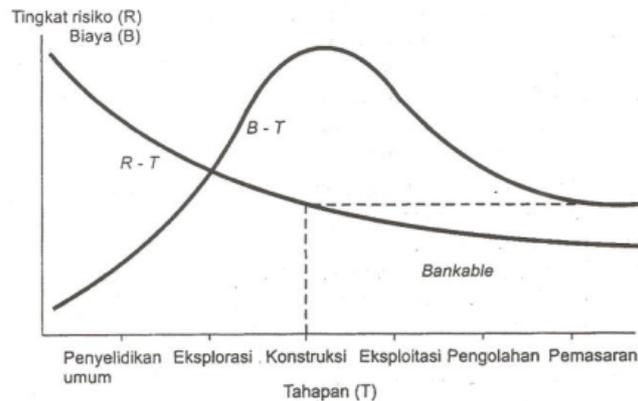
untuk saat ini atau waktu yang akan datang. Sasaran utama eksplorasi, adalah untuk menemukan dan mendapatkan dalam jumlah maksimum dengan biaya rendah dan dengan waktu yang singkat.

Eksplorasi batu bara adalah kegiatan yang melalui suatu proses eliminasi, bisa satu prospek atau lebih (Hutton dan Jones, 1995). Hal ini tergantung data yang tersedia seperti berikut.

- a. Evaluasi regional, tujuannya adalah untuk mengetahui perkembangan tektonik dan sedimentologi suatu wilayah untuk menentukan cekungan-cekungan mana yang prospek.
- b. Studi cekungan, tujuannya adalah untuk mendefinisikan bagian-bagian dari cekungan yang prospek. Contohnya, batu bara pada kedalaman dan ketebalan berapa batu bara tersebut layak untuk ditambang.
- c. Ketentuan penambangan, tujuannya adalah untuk mengevaluasi tambang, termasuk studi pendahuluan tentang lingkungan.



Gambar 1. Tahapan Eksplorasi dan Laju Investasi (Modifikasi Eimon (1988) dalam Evans (1995))



Gambar 2. Grafik (R-T) menunjukkan hubungan antara tingkat risiko (R) dengan tahap pengembangan mineral (T) (Sudradjat, 1999)

1.2 PROGRAM EKSPLORASI BATU BARA

Tujuan utama dari program eksplorasi batu bara adalah untuk melokalisasi keterdapatan endapan batu bara, pengambilan sampel, pengujian kualitas batu bara dan cadangan yang ada di suatu daerah tertentu, serta mengidentifikasi faktor-faktor geologi yang akan mengontrol dalam pengembangan tambang. Peranan tersebut mencakup evaluasi data lama, pemetaan geologi dan pengambilan sampel, penggunaan metode geofisika dan pengeboran (Larry Thomas, 2005).

Penerapan metode geologi dalam industri batu bara adalah dalam upaya menentukan sifat-dasar program eksplorasi, lokasi keterdapatan batu bara dan kualitas batu bara (Ward, 1984).

Jika sasaran target batu bara sudah ditentukan, maka perlu melaksanakan program eksplorasi sesuai dengan hasil yang diharapkan. Sebagai contoh, seperti Cekungan Gippsland di Australia, adalah sasaran targetnya, di mana batu bara *high bituminous coal* dapat ditemukan. Seorang geologis seharusnya sadar potensi pemanfaatan batu bara dan menjadikannya familier dengan sarana infrastruktur yang ada, seperti ketersediaan jalan,

jalan kereta api, air dan aliran listrik dan tenaga kerja, serta pertimbangan lingkungan.

Pemanfaatan secara maksimum seharusnya menggunakan teknologi eksplorasi yang tersedia melalui perencanaan, dan melaksanakan program-program eksplorasi tersebut dengan tahapan yang berkesinambungan, masing-masing tahapan berdasarkan hasil tahapan sebelumnya. Masing-masing tahapan seharusnya memberikan informasi dalam jumlah yang optimum.

Tahapan berikutnya adalah pertimbangan evaluasi prospeksi yang digunakan sebagai petunjuk. Tahapan tersebut tidak berdiri satu sama lain serta tergantung pada sifat dasar dari prospek secara khusus, bagian-bagian tertentu dari tahapan itu bisa saja dilaksanakan secara serentak, atau ada bagian yang dihapus.

Semua pekerjaan eksplorasi hendaknya diawasi oleh sebuah tim yang terdiri dari para ahli geologi, ahli tambang, ahli pengolahan batu bara, ahli teknologi pengembangan energi, ahli pemasaran dan ahli keuangan, untuk melengkapi tujuan dan hasilnya. Eksplorasi membutuhkan akuisisi data dan pengembangan data untuk memastikan potensi pertambangan secara komersial, faktor geologi akan mempengaruhi dalam merancang tambang sedangkan data analitik dibutuhkan untuk urusan pemanfaatan dan pemasaran.

Masing-masing program eksplorasi hendaknya mempunyai satu atau lebih personil yang berpengalaman pada semua tahapan ketika data geologi yang dikumpulkan itu akan digunakan untuk mengambil keputusan-keputusan tentang apakah perlu mengubah strategi atau meneruskan program tersebut.

Semua pihak yang terlibat, termasuk kontraktor pengeboran, hendaknya benar-benar mengetahui jenis informasi yang diharapkan dari masing-masing tahapan tersebut sehingga keputusan yang benar dapat diambil dengan waktu cukup guna melangkah dari tahap satu ke tahap berikutnya.

Tujuan akhir program eksplorasi adalah mendapatkan cadangan dan membuka tambang secara menguntungkan.

1.2.1 Sifat Dasar Program Eksplorasi

Sifat dasar program eksplorasi untuk menetapkan operasi pertambangan batu bara baru, atau perluasan tambang batu bara lama, meliputi 4 (empat) komponen yang saling melengkapi, terdiri dari:

- a. Eksplorasi: seleksi dan penilaian geologi untuk daerah yang mengandung endapan batu bara;
- b. Desain: desain dan evaluasi ekonomi tentang metode pertambangan yang paling tepat untuk daerah tersebut;
- c. Pemasaran: batu bara yang dihasilkan akan dipasarkan sesuai harga batu bara saat ini;
- d. Pengembangan: pendapatan dan konstruksi pabrik serta fasilitas yang dibutuhkan untuk produksi batu bara.

Desain tambang dan instalasi persiapan terkait sangat tergantung pada pengetahuan rinci geologi endapan, dan juga tergantung pada spesifikasi yang diperlukan untuk produk yang bisa dipasarkan.

Operasi pemasaran jangka-panjang atau rancangan fasilitas-fasilitas untuk menggunakan batu bara dari suatu endapan tertentu, sebagian juga didasarkan atas penilaian secara luas tentang kualitas batu bara dan laju produksi batu bara.

1.2.2 Rancangan Program Eksplorasi

Program eksplorasi batu bara bisa mempunyai satu sasaran atau dua kemungkinan sasaran pokok yaitu:

- a. Mendapatkan daerah dengan jumlah kandungan batu bara tertentu sesuai kualitas yang diharapkan, hal ini merupakan penemuan yang dianggap berhasil; atau
- b. Menentukan jumlah cadangan dan kualitas batu bara secara ekonomis yang bisa diperoleh dari daerah tertentu.

Namun demikian sesuai sasaran eksplorasi yang sebenarnya, umumnya program tahapan eksplorasi dan evaluasi banyak berkembang pada tipe kedua. Teknik yang digunakan, dan tingkat keterlibatannya secara rinci, umumnya tergantung periode waktu dan biaya dialokasikan pada perusahaan tambang batu bara tersebut, sedangkan untuk hasil program yang pertama adalah keputusan untuk menjalankan studi yang lebih luas dalam suatu program eksplorasi sebagai keputusan akhir untuk mencapai keberhasilan pertambangan, dengan penyelidikan geologi yang semakin detail yang bisa mengubah dari prospeksi secara regional menuju studi desain tambang secara rinci.

Seperti kegiatan-kegiatan eksplorasi lainnya maka evaluasi endapan batu bara melibatkan beberapa operasi seperti berikut ini.

- a. Memperoleh izin untuk mengeksplorasi daerah tersebut;
- b. Mengevaluasi informasi data geologi yang sudah tersedia sebelumnya;
- c. Melaksanakan eksplorasi permukaan;
- d. Melaksanakan eksplorasi bawah-permukaan;
- e. Mengumpulkan dan menganalisis sampel;
- f. Menaksirkan sumber daya batu bara dan faktor-faktor geologi dalam pengolahannya;
- g. Menyampaikan hasil eksplorasi kepada anggota lain dalam tim tersebut.

Umumnya teknik eksplorasi dengan biaya rendah dan sering dilakukan paling awal adalah survei literatur dan pemetaan geologi lapangan, yang dilaksanakan sebelum teknik eksplorasi yang lebih mahal, seperti pemboran.

Salah satu dari tujuan-tujuan program eksplorasi adalah menghapuskan bagian tahapan eksplorasi yang berbiaya tinggi, dan jika memungkinkan bisa digantikan dengan pekerjaan geologi yang lebih menguntungkan.

Urutan tahapan eksplorasi yang sesungguhnya dalam program eksplorasi dilaksanakan sampai tingkat tertentu sesuai

kondisi yang ada, misalnya iklim atau akses di lapangan serta kesanggupan kontraktor tambang batu bara sesuai batas waktu yang ditentukan.

1.3 TAHAPAN EKSPLORASI BATU BARA

Tujuan tahapan eksplorasi batu bara adalah mengidentifikasi keterdapatannya batu bara, ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas, dan kualitas sebagai dasar dalam penilaian kemungkinan untuk dilakukan investasi. Tahapan eksplorasi batu bara dilaksanakan mulai tahap: pra-eksplorasi (survei tinjau), prospeksi, eksplorasi pendahuluan dan eksplorasi rinci sesuai dengan program eksplorasi yang telah direncanakan sebelumnya, keempat tahap tersebut dirancang seefisien mungkin, mengingat biaya tinggi dalam kegiatan eksplorasi. Pada dasarnya urutan tahapan eksplorasi batu bara tersebut adalah semakin banyak dan bertambah data serta semakin detail data maka, semakin sempit wilayah kerja eksplorasi. Tingkat keyakinan geologi sangat diperlukan dalam memutuskan untuk melanjutkan ke tahapan berikutnya (Gambar 4, hal. 10).

Eksplorasi pendahuluan dilaksanakan pada endapan yang dievaluasi secara ekonomi dan yang dapat ditambang sesuai dengan hasil-hasil prospeksi rinci.

Hal terpenting dari eksplorasi pendahuluan adalah untuk menilai keekonomian endapan batu bara. Tahap eksplorasi ini juga memberikan informasi yang cukup mengenai struktur geologi endapan batu bara, sehingga layak untuk ditambang dan dapat diusulkan metode eksploitasinya.

Eksplorasi pendahuluan bisa selesai tentunya dengan persiapan laporan geologi dan estimasi cadangan batu bara. Data geologi digunakan untuk persiapan pembangunan penambangan pendahuluan dan merupakan keputusan yang harus diambil, ketika akan menuju eksplorasi rinci.

Eksplorasi rinci umumnya dikerjakan pada endapan yang dimaksudkan untuk segera diusahakan. Tujuannya untuk menilai

cadangan batu bara dengan akurasi yang lebih besar serta untuk memasang semua data yang diperlukan untuk konstruksi penambangan dan pabrik yang menguntungkan untuk menentukan pemanfaatan batu bara.



Gambar 3. Bagan Alir Tahapan Eksplorasi Batu Bara

1.3.1 Tahap 1. Pra-Eksplorasi/Survei Tinjau

Melakukan studi geologi regional untuk menentukan keterdapatan cekungan sedimen yang mengandung batu bara, tahapannya meliputi:

- a. Menentukan cekungan sedimen;
- b. Menentukan stratigrafi regional;
- c. Menentukan formasi pembawa batu bara berdasarkan analisis stratigrafi regional;
- d. Menentukan sebaran lateral dari *lithofacies* dalam cekungan sedimen.

Tujuannya adalah untuk:

- a. Mengidentifikasi daerah-daerah yang secara geologi mengandung endapan batu bara dan berpotensi untuk diselidiki lebih lanjut.
- b. Mengumpulkan informasi umum tentang kondisi geografi, tata guna lahan, dan kesampaian daerah.

Untuk mengembangkan studi geologi regional tersebut dilakukan analisis:

- a. Peta topografi dan tataguna lahan;
- b. Laporan dan peta-peta geologi;
- c. Foto udara dan citra satelit;
- d. Peta geofisika regional;
- e. Sumur minyak lama dan log bor, dan rekaman data geofisika;
- f. Kondisi lokal; dan
- g. Mengenali singkapan dan sampling dengan skala peta 1:50.000.

Informasi yang pernah dipublikasikan dapat ditambah dengan pemetaan penyelidikan pendahuluan dengan menggunakan metode foto geologi maupun survei permukaan. Selama pemetaan permukaan semua *seam* batu bara yang tersingkap harus diambil contohnya kemudian dianalisis.

Sasaran akhir tahap pra-eksplorasi ini adalah memberikan penilaian atau perkiraan tentang hal-hal berikut.

- a. Kebenaran jumlah kehadiran *seam* batu bara;
- b. Kebenaran jumlah tonase minimum dan maksimum;
- c. Kebenaran kualitas batu bara dan variasinya;
- d. Kebenaran variasi ketebalan *seam* batu bara secara luas;
- e. Kebenaran struktur geologi yang mengontrol, besar kemiringan lapisan batu bara serta kehadiran dan orientasi arah sesar;
- f. Kebenaran kedalaman *seam* batu bara untuk menentukan sistem tambang terbuka atau tambang tertutup.

Berdasarkan informasi ini tim studi dapat menilai potensi selanjutnya tentang endapan fosil energi yang diselidiki. Modal, biaya operasi dan infrastruktur dapat secara luas ditaksirkan untuk memberikan suatu ide tentang ukuran dan kualitas target yang ditemukan untuk menentukan biaya ekonomi. Tim geologi, kemudian menilai-kembali situasinya dan menentukan apakah ada peluang untuk mendapatkan endapan yang diperlukan untuk melanjutkan eksplorasi tersebut.

Keputusannya adalah: dilanjutkan ke tahap berikutnya atau ditinggalkan.

1.3.2 Tahap 2. Penilaian Regional Daerah yang Prospek

Sasaran tahapan ini adalah:

- a. Menentukan secara akurat stratigrafi dan posisi yang mengandung horizon batu bara;
- b. Tahap prospeksi ini dimaksudkan untuk membatasi daerah sebaran endapan batu bara yang akan menjadi sasaran eksplorasi selanjutnya.
- c. Menentukan korelasi dan sebaran lateral dari horizon batu bara;
- d. Menentukan secara umum gambaran struktur geologinya;
- e. Menentukan geometri batu bara, kualitas dan mungkin potensi pemanfaatannya;
- f. Menentukan benar metode eksploitasi.

Kegiatannya meliputi:

- a. Pemetaan geologi dengan skala minimal 1:50.000,
- b. Pengukuran penampang stratigrafi,
- c. Pembuatan paritan (*trenching*) atau pembuatan sumuran (*test pit*),
- d. Melakukan pemboran uji (*scout drilling*),
- e. Melakukan pencontohan (*sampling*), dan
- f. Melakukan analisis kualitas.

Selama tahapan ini, pengertian tentang geologi endapan secara luas seharusnya dikembangkan sedemikian rupa sehingga bagian-bagian *seam* penambangan kemungkinan dapat ditentukan. Struktur geologi umum dan sebaran jenis batu bara hendaknya diperiksa bersama-sama.

Tahap ini melibatkan pengeboran dengan sejumlah lubang bor dengan *gridding* yang berjarak relatif lebar, sesuai lokasi yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Penentuan jarak lubang bor biasanya sejauh 4 sampai 6 km, tergantung luas yang ditinjau, dan lubang bor tersebut adalah *full coring*, pada daerah yang prospek saja, atau menggunakan *rotary chip holes* sehingga bisa di-*logging* menggunakan teknik geofisika *down-hole*.

Metode yang paling efektif biayanya pada tahap eksplorasi ini adalah dengan menggunakan *downhole logging* dalam lubang sampel *rotary chip*, selama kondisi geologinya sederhana maka metode tersebut bisa dipertahankan. Semua *boreholes* pada tahap ini hendaknya menembus lapisan batu bara mulai bagian atas hingga bagian bawah. Beberapa *core* diperlukan untuk menentukan jenis batu bara dan parameter-parameter kualitas yang tidak tersedia dari *downhole geophysical logging*, dan memungkinkan interpretasi yang lebih baik tentang *downhole log* ini.

Teknik geofisika permukaan hendaknya digunakan untuk mendukung data geologi antara lubang bor selama teknik tersebut memberikan keunggulan layaknya terhadap pengeboran yang sifatnya relatif cepat dan murah. Karena banyak lagi data penting yang digunakan selama survei geofisika, gambaran yang lebih luas tentang horizon yang diteliti, dan setiap ketidakmenerusan lapisan batu bara bisa diperoleh datanya.

Sebagai contoh, Cekungan Sydney bagian selatan di Australia, untuk sebuah periode waktu yang panjang, adalah tidak mungkin menggunakan survei seismik seperti di unit batupasir Hawkesbury bagian atas, karena banyak energi yang hilang dan resolusi data seismiknya sangat buruk.

Inti bor yang diambil, biasanya berdiameter kecil (NQ) dan hendaknya di-*sampling* berdasarkan *ply by ply*. Hal ini memungkinkan lebih mengidentifikasi interval *core* batu bara. Pada tahap ini, variasi kualitas hendaknya bisa dinilai secara penuh.

Tahap ini akan lengkap bilamana *seam* batu bara yang mempunyai potensi ekonomi itu secara positif ditentukan dan dipisahkan. Keputusan selanjutnya adalah membuat kemungkinan metode penambangan yang tepat dan potensi pemanfaatannya. Kajian ekonomi, perlu dibuat rancangannya pada tahap pra-eksplorasi, untuk memutuskan potensi endapan batu baranya.

Tanggungjawab ahli geologi pada tahap pemboran adalah:

- a. Menaksir jumlah lubang yang akan dibor.
- b. Menaksir total panjang pengeboran *non-coring* dan *coring*.
- c. Menaksir kedalaman lubang maksimum dan minimum.
- d. Menaksir jumlah *drilling rigs* yang dibutuhkan.
- e. Mempersiapkan spesifikasi, bentuk tender dan dokumen-dokumen kontrak.
- f. Mencari kontraktor pengeboran untuk mengikuti tender.
- g. Bertanggung jawab bersama dengan *landholders* untuk menjamin akses.
- h. Menyeleksi dan mengidentifikasi *bore sites*.
- i. Menyusun program analitik.
- j. Menyeleksi kontraktor pengeboran.
- k. Memesan kotak inti.
- l. Mengadakan survei terhadap *bore sites*.
- m. Mencari kontraktor *logging* geofisika.
- n. Memberitahu pihak berwenang yang berniat mengebor.
- o. *Conduct drillers* pada masing-masing *sites*.
- p. Mengawasi kegiatan-kegiatan *drillers* di lapangan.
- q. Mempersiapkan catatan tertulis dan *graphic logs* tiap lubang dan *cross-sections* untuk daerah kunci.
- r. Membuat foto setiap *interval core*.
- s. Mengirim *core* batu bara ke laboratorium dan *core* batuan ke gudang *core*.

- t. Membuat program dari hasil catatan lapangan.
- u. Memastikan tiap lubang bor ditutup dan tiap *sites* dirapikan kembali setelah kegiatan pengeboran selesai dilaksanakan.
- v. Mengecek dan mengesahkan pembayaran kepada kontraktor
- w. Melengkapi data: menggambar peta *lithofacies* dan peta kualitas batu bara.
- x. Mempersiapkan laporan dan memberikan rekomendasi tindakan selanjutnya.

1.3.3 Tahap 3. Eksplorasi Pendahuluan

Sasaran tahap ini adalah untuk membuat suatu penilaian yang bisa dipercaya, dan tepat tentang cadangan, kualitas, kondisi tambang khususnya untuk tambang terbuka, menghitung *overburden* untuk persiapan perencanaan penambangan pendahuluan dan studi perencanaan biaya produksi serta survei pasar.

Maksud tahap eksplorasi pendahuluan adalah untuk mengetahui gambaran awal bentuk tiga-dimensi endapan batu bara (ketebalan, bentuk, korelasi, sebaran, struktur, kuantitas dan kualitas).

Pada tahap ini, informasi yang diperoleh sebelumnya haruslah dinaikkan ke tingkatan kepercayaan yang lebih tinggi untuk memungkinkan penilaian di atas betul-betul dapat dipercaya.

Eksplorasi pada tahap ini hendaknya melibatkan pengeboran dengan *coring* dan antar lubang bor diantaranya disisipi *non-coring* serta dilakukan *logging* geofisika pada semua lubang bor, jarak antar lubang bor sekitar 2 km untuk *underground* dan jarak 0.5 km untuk *open pit*.

Lubang-lubang bor tersebut hendaknya diatur untuk dicocokkan anomali yang diindikasikan melalui survei-survei pada tahap 2 (tahap prospeksi). Daerah-daerah yang akan diselidiki ditentukan sebagai hasil dari analisis rinci dari data tahap sebelumnya.

Sampling *ply-by-ply* terhadap *core* tersebut mungkin diperlukan untuk melengkapi korelasi dan kontrol kualitas, namun tahap ini hendaknya terkonsentrasi pada penilaian bagian-bagian tambang yang mungkin dan kebanyakan *seam* yang akan diuji berdasarkan "*working section*". Analisis yang diperoleh atas dasar ini akan memberi *technologist* dan *marketer* dengan informasi yang lebih andal mengenai produk yang berpotensi untuk dijual (*potential saleable product*).

Pengujian teknis pendahuluan hendaknya dilaksanakan pada beberapa *core* untuk memberikan petunjuk informasi mengenai *potential roof* dan *floor rocks* untuk perencanaan pertimbangan tambang bawah tanah, serta *overburden* dan *interburden* untuk pertimbangan rencana *open cut mining*. Pada tahap inilah bahwa informasi rinci diperlukan dari *seam* batu bara. *Core* batu bara hendaknya digambar log secara rinci (Gambar 5).

Kegiatannya adalah:

- a. Pemetaan geologi dengan skala minimal 1:10.000,
- b. Pemetaan topografi,
- c. Pemboran dengan jarak yang sesuai dengan kondisi geologinya,
- d. Penampangan (*logging*) geofisika,
- e. Pembuatan sumuran/paritan uji, dan
- f. Pencontohan (*sampling*) yang representatif.

Graphic section	Ply thickness (m)	Depth from surface (m)	Cum thickness from floor (m)	Ply description	Sample number	Cum ash % from floor	Volumetric recovery (%)	Analysis (air-dried basis)												
								Apparent RD	Moist (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	Sulphur (%)	SE (MJ kg ⁻¹)	Swelling number					
Wkg Roof	3.060	116.120	-	Sandstone, fine to medium, mid grey	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	0.125	116.245	2.615	Coal, dull and bright, fine interbedded	1074	20.8	95	1.47	2.5	21.5	27.6	48.4	0.48	23.81	1½					
	0.038	116.283	2.490	Claystone, grey-brown, soft	1075	20.4	90	2.29	1.9	-	84.2	-	0.31	-	-					
	0.250	116.533	2.452	Coal, dull, minor bright bands	1076	18.8	95	1.42	2.4	24.7	18.8	54.1	0.65	26.95	0					
Alt Wkg Roof	0.390	116.923	2.202	Coal, dull, numerous bright bands	1077	18.8	93	1.38	3.3	25.5	13.2	57.9	0.54	28.39	1					
	0.102	117.025	1.812	Mudstone, dark grey, carbonaceous	1078	20.0	88	2.23	1.9	-	73.0	-	0.85	-	-					
	0.293	117.318	1.710	Coal, dull, minor bright bands	1079	15.0	85	1.45	2.7	22.7	21.5	53.1	0.74	25.77	1½					
	0.505	117.823	1.417	Coal, bright, minor dull bands	1080	13.6	97	1.38	3.1	26.8	10.3	59.8	0.42	29.08	6					
	0.117	117.940	0.912	Coal, shaly, pyritic, fissile	1081	15.4	65	1.50	1.8	-	38.6	-	0.84	-	-					
	0.225	118.165	0.795	Coal, dull, numerous bright bands	1082	11.8	78	1.42	2.5	25.1	13.4	59.0	0.65	28.25	4					
Wkg Floor	0.570	118.735	0.570	Coal, dull and bright, coarse l'bedded	1083	11.2	98	1.41	2.7	26.5	11.2	59.6	0.34	28.98	5½					
	0.675	119.410	-	Claystone, mid-grey, plant rootlets	1084	-	-	2.36	1.5	-	87.8	-	-	-	-					
General Coal Company				Analysed composites																
Bore: East Coalville DDH 8 Seam: Black Creek Coal Member Date Received: 21 October 1980. Date Completed: 14 November 1980. Analyst: N. Jones				1074-1083 — Full Seam, Raw Coal		1085	100	49	-	2.6	23.4	21.1	52.9	0.54	25.94	2½				
				1079-1083 — Alt Wkg Sect, Raw Coal		1086	100	-	F	2.8	24.8	14.9	57.5	0.51	26.07	5				
				1074-1083 — 15 mm x 0, Floats 1.60		1097	73.5	54	-	2.5	24.6	15.1	57.8	0.48	28.16	3				
				1079-1083 — 15 mm x 0, Floats 1.45		1104	78.7	-	G4	2.7	26.4	9.5	62.4	0.42	30.15	6½				

Gambar 4. Contoh Detail Log Seam Batu Bara (Ward, 1984)

1.3.4 Tahap 4. Eksplorasi Rinci

Pada tahap ini eksplorasi tersebut memberikan data untuk persiapan desain tambang (jika diperlukan) dan petunjuk pasar atau spesifikasi pemanfaatannya. Persiapan *plant* hanya diperlukan bilamana kandungan abu batu bara tinggi (15 sampai 35% abu) dan sebaliknya pemanfaatan untuk batu bara dengan abu lebih rendah.

Sebagai contoh, suatu *power plant* akan peka terhadap kadar abu; sehingga dengan demikian, jika suatu tenaga beroperasi dan kontrak baru sedang dirundingkan, maka kadar abu dari batu bara haruslah sesuai dengan permintaan dan spesifikasi *power plant*.

Maksud tahapan eksplorasi rinci adalah untuk mengetahui kuantitas dan kualitas serta model tiga-dimensi endapan batu bara secara lebih rinci.

Kajian pendukung untuk penerapan konsep penambangan sudah bisa mulai studi geoteknik awal dan studi hidrologi dan hidrogeologi.

Kuantifikasi jumlah sumber daya dan cadangan insitu mulai Perkiraan sumber daya, Perkiraan cadangan insitu rancangan desain penambangan (konsep).

Eksplorasi juga dilaksanakan dengan pemboran *coring* dan *logging* geofisika, sedangkan untuk bor *non-coring* jarak spasinya dirancang bisa mencukupi dan cukup akurat untuk kategori cadangan "terukur". Kondisi tersebut sangat jarang bisa dipenuhi jika jarak lubang bor lebih besar dari 1 km untuk cadangan bawah tanah, dan lebih besar dari 250-300 m untuk cadangan *open cut*.

Namun demikian, variasi yang lebih besar dalam ketebalan dan kualitas *seam* batu bara, dan atau struktur geologi yang lebih kompleks di daerah tersebut, maka memerlukan pola pemboran dengan jarak lubang bor yang lebih dekat.

Selanjutnya metode geofisika atau survei tambahan lainnya bisa dipakai untuk menjelaskan konfigurasi struktur geologi yang lebih rinci dengan pertimbangan untuk menentukan jenis tambang tersebut.

Keputusannya adalah, bahwa eksplorasi yang telah dilaksanakan pada tahap ini, maka jelas akan terus berlanjut.

Parameter perbedaan tambang terbuka dengan tambang bawah tanah (Ward, 1984):

Tambang terbuka:

- a. Membutuhkan pengembangan minimum pada produksi batu bara.
- b. Memerlukan memindahkan volume *overburden* yang besar untuk mendapat batu bara.
- c. Memerlukan lahan yang luas sebagai tempat pembuangan *overburden*.
- d. Banyak lahan yang rusak akibat pembukaan tambang.

- e. Terjadi polusi abu dan suara yang mengganggu lingkungan.
- f. Tingkat keamanan pekerja lebih aman.
- g. Peralatan yang dibutuhkan lebih sedikit dalam menambang batu bara.
- h. Kondisi kerja yang sulit dalam iklim yang kurang menguntungkan.
- i. Bahaya longsor saat penggalian atau *spoil piles*.
- j. Pertimbangan biaya penataan lahan yang rusak.
- k. Keterbatasan kedalaman maksimum lapisan batu bara yang bisa ditambang seiring dengan biaya pemindahan *overburden*.
- l. Hampir semua batu bara *in situ* bisa diperoleh.

Tambang bawah tanah:

- a. Memerlukan sumuran atau membuat lubang yang tidak produktif lainnya dalam lapisan non-batu bara.
- b. Perlu menyediakan kayu penyangga, *straps* baja atau paku batuan untuk penopang atap.
- c. Hanya di sekitar *pit-top* saja yang tampak terganggu.
- d. Gerak penurunan pada lapisan atap akan mengganggu pekerjaan instalasi permukaan.
- e. Perlu menyediakan ventilasi dan fasilitas penerangan.
- f. Masing-masing unit produksi mungkin saja murah, tetapi selebihnya diperlukan keseimbangan untuk mengeluarkan batu bara.
- g. Suhu bawah tanah naik dengan bertambahnya kedalaman.
- h. Bahaya atap runtuh atau gas terbakar.
- i. Dapat ditambang di bawah kumpulan air dan daerah-daerah sensitif lainnya.
- j. Dapat menambang di bawah tubuh air dan daerah sensitif lainnya.
- k. Dapat menambang pada kedalaman yang besar; *overburden*: rasio batu bara tidak begitu kritis.

- i. Kurang dari 60% batu bara insitu bisa diperoleh.

Kegiatannya adalah:

- a. Pemetaan geologi dan topografi dengan skala minimal 1:2.000,
- b. Pemboran dan pencontohan yang dilakukan dengan jarak yang sesuai dengan kondisi geologinya,
- c. *Logging* geofisika.

1.3.5 Tahap 5. Perencanaan Tambang

Tujuan tahap ini adalah untuk memperoleh semua informasi tambahan yang diperlukan, dan mengkonfirmasi data lama, yang dibutuhkan untuk rancangan dan perencanaan rinci tambang tersebut, persiapan *plant* dan persiapan spesifikasi pasar.

Bilamana *seam* batu bara akan ditambang dengan metode bawah tanah, pola lubang bor *coring* hendaknya dibor segera berdekatan dengan lubang tambang. *Core* dari lubang bor ini dapat diuji secara rinci untuk mengkonfirmasi sifat-sifat mekanis, *washability* dan kualitas produk dari batu bara pertama yang akan ditambang, serta untuk mengonfirmasikan konfigurasi struktur geologi dan mungkin emisi gas.

Untuk *seam* batu bara dekat permukaan, lubang bor yang *non-coring* berjarak rapat dan *logging* geofisika sepanjang garis transversal berjarak rapat, 100 m terpisah jika perlu, hal ini akan memungkinkan pembuatan profil *seam* batu bara rinci dan membuktikan adanya sesar yang sesungguhnya. Survei geofisika rinci lebih lanjut bisa mengurangi jumlah *drilling* yang akan dilaksanakan.

Suatu tambang terbuka akan dilaksanakan, ketetapan *overburden* dan *floor core* adalah perlu untuk memberikan informasi lebih lanjut mengenai *rippability*, aliran air, kekuatan mekanis, *friability*, air yang meluas, permeabilitas, karakteristik *cutting*, aliran masuk air, karakteristik *blasting* dan *highwall* dan *spoil pile stability*.

Bor *coring* pada tahap ini biasanya terbatas pada ketetapan *core* yang berdiameter besar (150 mm atau 200 mm), untuk memungkinkan distribusi ukuran jalannya tambang yang akan diperkirakan, jika produknya akan dipersiapkan menggunakan *coal washery*. *Chip drilling*, atau teknik yang sesuai lainnya seperti *resistivity*, mungkin harus dilaksanakan secara akurat guna mendefinisikan batas-batas oksidasi, dan oleh sebab itu, lokasi *low wall* yang sebenarnya dalam tambang terbuka. *Drilling* hendaknya dilaksanakan dengan arah memotong *strike* dari keterbatasan oksidasi yang tereka dan kira-kira akan sejajar dengan *subcrop*.

Pada tahap ini, beberapa lubang berdiameter besar bisa tenggelam. Seleksi situs untuk ini akan bergantung pada hasil-hasil dari lubang-lubang berdiameter lebih kecil. Tujuan mengebor lubang-lubang berdiameter besar adalah untuk memperoleh sampel yang paling representatif untuk menilai variasi kualitas. Biasanya banyak lubang yang akan dibor berdekatan dengan lubang berdiameter kecil untuk memungkinkan korelasi yang berarti. *Core* yang besar tersebut memberikan ukuran partikel yang meningkat ke arah atas dari *core* yang telah dihancurkan dengan program pengujian yang komprehensif dapat dilaksanakan untuk menguji prinsip pra-perlakuan untuk persiapan rancangan *plant (washery)*. Produk "*washed coal*" sintesis dapat diperoleh dan hendaknya memiliki masa yang sesuai sedemikian rupa sehingga hal berikut di bawah ini dapat dilaksanakan:

- studi *blending coke oven* secara rinci dan pengujian kekuatan kokas jika batu bara berpotensi sebagai batu bara kokas; dan
- *fly ash precipitability*, atau pengujian lainnya, jika batu bara tersebut sebagai batu bara untuk termal atau bahan-bakar.

1.4 METODE EKSPLORASI BATU BARA

Pemilihan metode eksplorasi yang akan digunakan dalam setiap program eksplorasi ini ditekankan oleh berbagai faktor yang

meliputi sifat dasar yang potensial dari endapan batu bara tersebut, dan sejumlah informasi pengetahuan geologi dan geofisika mengenai endapan batu bara yang dibutuhkan dari setiap tahap program eksplorasi sebelum program eksplorasi dimulai. Tujuan keseluruhannya adalah untuk memberikan hasil yang optimum informasi dengan memanfaatkan teknologi yang ada. Berdasarkan pada sifat penyelidikan, sifat dasar bahan galian batu bara dan pemanfaatan teknologi, maka metode eksplorasi batu bara secara umum dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu eksplorasi tak langsung dan eksplorasi langsung.

1.4.1 Metode Eksplorasi Tidak Langsung

Metode eksplorasi tidak langsung ini umumnya dilakukan pada tahap paling awal sebelum peninjauan lapangan dan saat peninjauan lapangan (*reconnaissance*). Metode ini dipergunakan untuk menginterpretasi keberadaan endapan batu bara dengan menganalisis peta geologi regional, peta foto udara, citra satelit dan anomali data geofisika sehingga bisa diinterpretasikan pola struktur, kedudukan lapisan batu bara dan bentuk geometri endapan batu bara.

Parameter yang digunakan metode eksplorasi tidak langsung adalah:

- a. Tidak berhubungan langsung dengan objek yang dieksplorasi.
- b. Memanfaatkan sifat-sifat fisik endapan batu bara.
- c. Melalui anomali-anomali yang diperoleh dari hasil pengamatan/pengukuran.
- d. Pengindraan jarak jauh, survei geofisika.
- e. Digunakan pada tahapan *reconnaissance* (eksplorasi pendahuluan) sampai prospeksi.
- f. Membutuhkan peralatan atau teknologi yang relatif tinggi.
- g. Biaya per satuan luas murah.
- h. Relatif cepat.

1.4.2 Metode Eksplorasi Langsung

Metode eksplorasi langsung mempunyai pengertian bahwa pengamatan dapat dilakukan dengan kontak visual dan fisik dengan kondisi permukaan/bawah permukaan, langsung pada endapan batu bara yang dicari, serta dapat dilakukan deskripsi megaskopis/mikroskopis, pengukuran, dan sampling terhadap objek yang dianalisis. Begitu juga dengan interpretasi yang dilakukan, dapat berhubungan langsung dengan fakta-fakta dari hasil pengamatan lapangan. Metode eksplorasi langsung ini dapat dilakukan di sepanjang kegiatan eksplorasi yaitu: mulai tahap awal sampai detail.

Parameter yang digunakan metode eksplorasi langsung adalah:

- a. Langsung berhubungan dengan objek yang dieksplorasi.
- b. Melakukan pengamatan secara langsung terhadap endapan secara fisik.
- c. Melakukan analisis megaskopis dan mikroskopis terhadap sasaran penyelidikan
- d. Pemetaan geologi dan topografi, sumur uji, parit uji, pemboran.
- e. Digunakan pada tahapan prospeksi sampai eksplorasi detail.
- f. Membutuhkan teknologi yang lebih sederhana s.d. manual.
- g. Biaya per satuan luas mahal.
- h. Memerlukan waktu lebih lama.

Beberapa metode yang diterapkan pada metode eksplorasi batu bara langsung adalah:

- a. Pemetaan geologi.
- b. Paritan dan sumur uji.
- c. Sampling.
- d. Pemboran eksplorasi dan *sampling* pemboran.

1.5 MODEL GEOLOGI BATU BARA

Studi tentang model geologi batu bara sangat diperlukan dalam mendukung keberhasilan program eksplorasi batu bara. Tujuan studi model geologi batu bara adalah untuk mengetahui model cekungan sedimen yang mengandung batu bara untuk menentukan pola struktur geologi, kemiringan lapisan batu bara, formasi pembawa batu bara berdasarkan analisis stratigrafi regional dan menentukan sebaran lateral dari *lithofacies* dalam cekungan sedimen tersebut. Dengan demikian bentuk geometri lapisan batu baranya bisa diketahui.

1.5.1 Model Cekungan Batu Bara Indonesia

Berdasarkan *tectono-stratigraphy* endapan batu bara tersier Indonesia (Koesoemadinata, 2002, Gambar 7, hal. 31), maka model cekungan batu bara Indonesia dapat dibagi menjadi:

1. Pengendapan batu bara bersamaan dengan *rifting* (*syn-rifting*) yang berasosiasi dengan endapan batu bara di bagian *rift-valley* (Eosen-Oligosen) disebut sebagai *Syn-Rifting and Associated Rift-Valley*.
2. Pengendapan batu bara fase transgresi setelah *rifting* (*post-rifting*) pada Kala Oligosen-Miosen Awal disebut sebagai *Post-Rifting Transgressive Phase Deposition*.
3. Pengendapan batu bara fase regresi bersamaan dengan proses orogenesis disebut sebagai *Syn-Orogenic Regressive Phase Deposition*.

Batu bara yang diendapkan di Cekungan *Syn-Rifting* akan sangat berdekatan/berbatasan dengan proses pengendapan batu bara di Cekungan *Rifting-Valley*, selama proses *rifting* tersebut berjalan. Cekungan batu bara di *Rifting-Valley* selanjutnya berhubungan dengan cekungan di *Post-Rifting*. Endapan *fluvial* akan diendapkan di Cekungan *Rift-Valley* hingga akhir fase *syn-rifting* yang selanjutnya diendapkan di Cekungan *Post-Rifting*.

Proses pengendapan batu bara di lingkungan delta melalui sisi bidang *flexure* dari *Half Graben*, sedangkan lingkungan *fluviatile* akan menuju akhir dari aktivitas *rifting*, mirip dengan lingkungan *fluviatile* di Cekungan *Post-Rifting*.

Pengertian *syn-rifting* serta asosiasinya dengan pengendapan di Cekungan *Rift-Valley*, pada saat *post-rifting* menyebabkan kerak tersebut membuka dan semakin lebar, kemudian mengalami penurunan (*sagging*).

1.5.1.1 Paleogene Syn-Orogenic Coal Deposits in Fore Arc Basin

Lingkungan endapan batu baranya berasosiasi dengan lingkungan *fluviatile* hingga progradasi delta akibat pengangkatan *magmatic arc*, hasil subduksi Paleogen.

Contoh: Endapan batu bara di Upper Kutai Basin, Bayah Basin, Melawi-Ketungau Basin.

1.5.1.2 Paleogene Syn-Rifting Coal Deposits

Endapan batu bara tersebut berasosiasi dengan lingkungan *fluviatile* hingga *lacustrine*, nilai kalori bisa mencapai 7000 kkal/kg, sulfur < 1%, kandungan abu bervariasi, umumnya lapisannya berbentuk *lenticular* atau menipis secara lateral. Contoh:

- a. Batu bara Formasi Sawahlunto-Cekungan Ombilin (Eosen), batu baranya terlihat di bawah permukaan.
- b. Batu bara Formasi Lahat (Eosen), batu baranya terlihat di bawah permukaan.
- c. Batu bara Formasi Talang Akar bagian bawah (Oligosen), batu baranya terlihat di bawah permukaan.
- d. Batu bara Formasi Tanjung-Cekungan Barito (Eosen), kehadiran lapisan batu baranya di permukaan tidak begitu terlihat jelas, hanya beberapa lapisan batu bara Formasi Tanjung termasuk dalam cekungan batu bara *syn-rifting*.
- e. Batu bara Formasi Ngimbang (Cekungan Sunda/*NW Java Basin*).

1.5.1.3 Neogen Syn-Orogenic Regression Related Coal Deposits

a. Back Arc Basin:

Cekungan Sumatra Utara lapisan batu bara yang ditemukan relatif sedikit, lapisan batu bara tersebut berasosiasi dengan fase regresi di lingkungan delta, berumur Miosen-Pliosen (contoh: Formasi Keutapang, Formasi Julurayeu).

Cekungan Sumatra Tengah, lapisan batu bara dan proses regresi ditemukan di Formasi Petani daerah Cerenti, lingkungan delta.

Cekungan Sumatra Selatan, pengendapan batu bara *Syn-Orogenic* berkembang di lingkungan delta dari Formasi Muara Enim yang berumur Miosen-Pliosen, batu bara yang ditemukan lebih dari 10 lapisan batu bara, dengan ketebalan maksimum 20 m (contoh: lapisan batu bara Suban) dan lebih dari 20 lapisan batu bara ditemukan di daerah Tanjung Enim dan sekitarnya, batu bara tersebut telah ditambang hingga saat ini (*Calorific Value* 5504-5347, *Inherent moisture* 23,6%, *Total Sulfur* 0,5%, *Ash* 4%, *Volatile Matter* 32,1%, *Fixed Carbon* 40%). Sebagian lapisan batu bara di Tanjung Enim mengalami peningkatan kualitas akibat kontak intrusi batuan andesit menjadi batu bara antrasit (*Calorific Value*: 8000 kkal/kal).

Jawa bagian barat-utara (NW) lapisan batu bara berada pada fase regresi contoh: Formasi Bojongmanik (Miosen Tengah) di Banten.

Jawa bagian utara-timur (NE) batu bara ditemukan di daerah Rembang Formasi Ngrayong (Miosen Tengah).

Jawa bagian tengah-utara batu bara ditemukan di daerah Brebes batu bara lignite, Formasi Kalibiuk (Pliosen Atas), diendapkan di lingkungan paralik (*lagoon*) *Calorific Value* 3000-3500 kkal/kg, *Total Sulfur* 0,5-1,4%, *Ash* 36-49%,

Moisture 10-13%, Volatile Matter 23-30%, Fixed Carbon 12-21%.

b. Fore Arc Setting

Batu bara berkembang di *Syn-Orogenic Regression Phase* ditemukan di Cekungan Meulaboh, Cekungan Bengkulu.

Batu bara Cekungan Bengkulu berkembang dengan baik di Formasi Lemau, berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir berkembang di lingkungan progradasi delta menuju ke arah barat. Terdapat 3 zonasi lapisan batu bara utama yang dikenal, di mana lapisan utamanya terdiri dari 14 lapisan batu bara lignite hingga sub-bituminous dengan ketebalan maksimum 2,9 m, *Calorific Value 5474-6721 kkal/kg, Total Sulfur 0,23-0,60%, Ash 7,24-14,24%.*

Batu bara Cekungan Meulaboh berupa lignite berumur Pliosen-Pleistosen, Formasi Tutut, lingkungan delta.

Cekungan Pegunungan Selatan Jawa Timur batu bara ditemukan di Formasi Jaten, Formasi Wuni, Miosen Tengah, lingkungan paralik (*lagoon*).

c. Sutured Related Basin Setting

Cekungan Barito, ketebalan lapisan batu bara berkembang dengan baik (sangat tebal), khususnya batu bara Formasi Warukin yang berada di lingkungan delta, di mana proses yang berkembang adalah regresi.

Cekungan Pasir, Cekungan Asam-Asam, lapisan batu baranya juga berkembang pada fase regresi di Formasi Warukin, terbentuk melalui siklus sedimentasi. Lapisan batu bara yang berumur Miosen (*Calorific Value 4967 kkal/kg, Total Sulfur 0,19%, FC 31,4%, Volatile Matter 37,6%, Ash 3,3%, Inherent moisture 27,7%, Total moisture 34,5%*) penyebaran lapisan batu bara secara lateral bisa menunjukkan perubahan secara tiba-tiba, namun demikian pada daerah-daerah tertentu (secara lokal) lapisan batu baranya bisa sangat tebal lebih dari 35 m yaitu di daerah

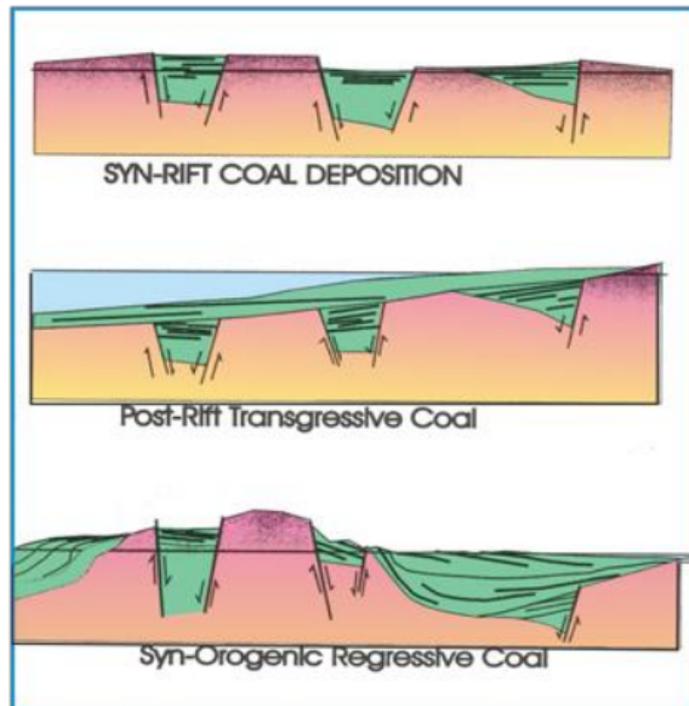
Sarongga, bahkan ketebalan lapisan batu baranya penyebarannya banyak yang tidak menerus dan lebih tipis (< m).

d. *Passive Margin Setting*

Cekungan di Kalimantan Timur, endapan batu baranya berhubungan dengan lingkungan *floodplain deltaic* dari progradasi delta selama Miosen (Gambar 4). Lapisan batu baranya cenderung tebal, penyebaran secara lateral relatif menerus, *Calorific Value* <6000 kkal/kg, *Total Sulfur* rendah atau > 1%, kandungan *inherent moisture* lebih tinggi dibanding batu bara Paleogen.

Cekungan Kutai khususnya di daerah Pinang (Sangata) lapisan batu baranya berkembang di lingkungan delta Formasi Balikpapan dan Formasi Pulubalang (Miosen). Jumlah lapisan batu bara di Formasi Balikpapan 19 lapisan batu bara, ketebalan Formasi Balikpapan hampir 500 meter berumur Miosen Akhir. Variasi ketebalannya 1,5 m-9 m (daerah Pinang), *Calorific Value* 7642-6567 kkal/kg, Pinang Utara *Calorific Value* 5100 kkal/kg, *Total Sulfur* 0,15-0,7% (bisa mencapai *Total Sulfur* 2,5% yaitu di daerah Pinang Utara), *Volatile Matter* 38-40%, *Ash* 1-4%, *Moisture* 4-10%, cadangan 360 juta ton, yang sudah terambil sekitar 110 juta ton.

Cekungan Tarakan lapisan-lapisan batu baranya berkembang di lingkungan delta, berumur Miosen-Pliosen. Batu bara Formasi Langap berumur Miosen Akhir. Batu bara Formasi Latih di Sub-Cekungan Berau berumur Miosen Awal, secara umum ketebalannya relatif tipis berkisar 5 meter.



Gambar 5. Tiga model tatanan stratigrafi-tekonik cekungan endapan batu bara di Indonesia (Koesoemadinata, 2002).

1.6 MODEL SEDIMENTASI BATU BARA

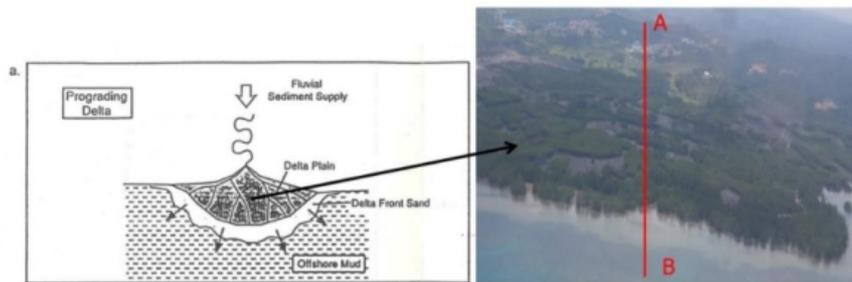
Batu bara terbentuk bersama-sama dengan bahan anorganik yang umumnya berupa sedimen klastik halus seperti batulempung, batulanau dan batupasir. Asosiasi batuan tersebut merupakan lapisan sedimen pembawa batu bara (*coal bearing bed*). Secara umum batu bara Tersier Indonesia mulai Miosen-Pliosen diendapkan di lingkungan delta, di mana komponen dasar suatu lingkungan pengendapan delta dibagi menjadi 3 sub-bagian lingkungan pengendapan berdasarkan ciri sedimen dan mekanisme pengendapannya yaitu: *delta plain*, *delta front* dan *prodelta*.

Dalam unit stratigrafi sedimen pembawa batu bara menurut jenis endapannya berdasarkan *lithofaciesnya*, seperti: *overbank deposits*, *levee deposits*, *splay deposits*, dan *channel deposits*,

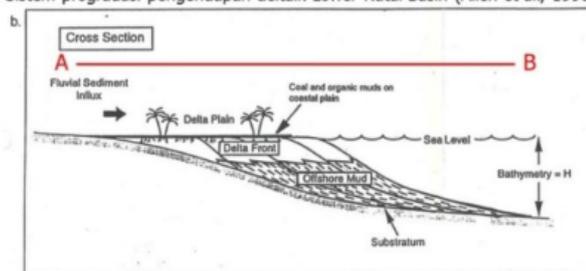
keempat jenis endapan tersebut pada umumnya banyak terdapat di lingkungan *delta plain* yang merupakan bagian dari kompleks pengendapan delta. Lingkungan pengendapan delta terdiri dari akumulasi endapan sungai (*fluvial*) yang bermuara di pantai dengan mekanisme pengendapan progradasi (Allen, *et al.*, 1998; Rahmad, B., 2001) (Gambar 6).

Delta plain terletak di atas permukaan laut endapannya berasal dari endapan aluvial yang berupa sedimen fraksi halus seperti: (1) batulempung yang diendapkan di daerah *flood plain* yang merupakan lingkungan rawa-rawa (*coal swamp*) dan *marsh* dengan jenis endapannya adalah *overbank deposits*, dan (2) sedimen fraksi kasar berupa batupasir yang diendapkan di sub-lingkungan *distributary channel* (*channel deposits*), ciri-ciri litologi batupasir antara lain: laminasi karbonan, *cross bedding*, *finning upward*, kontak erosional di bagian bawah dan terdapat *lag deposits* yang berupa fragmen-fragmen batu bara. *Channel deposits* diendapkan secara akresi lateral pada *point bar*, secara lateral *channel deposits* akan berubah secara berangsur menjadi *overbank deposits* di daerah *flood plain*.

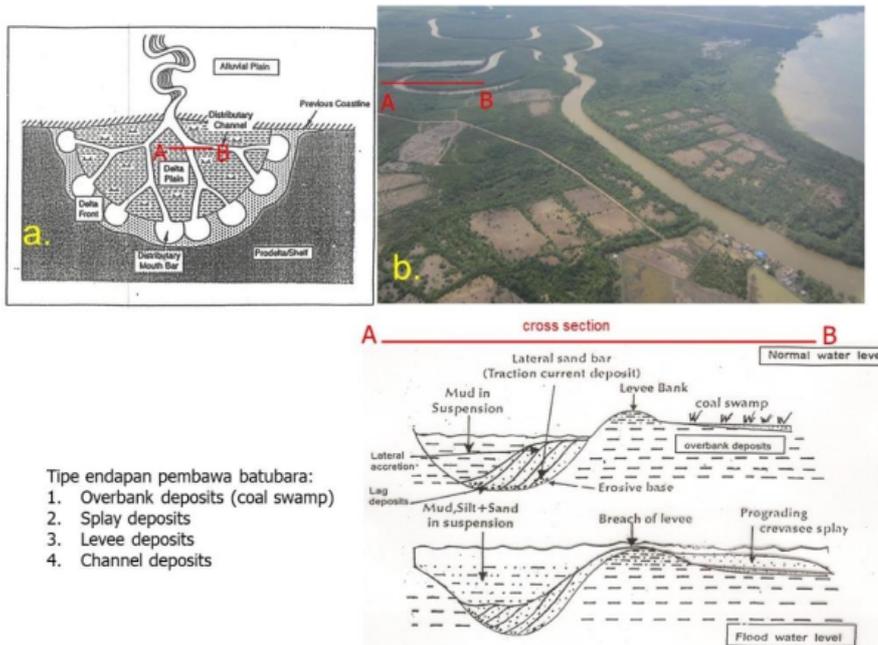
Batas antara *channel deposits* dengan *overbank deposits* dibatasi oleh tanggul alam (*natural levee*), endapannya disebut *levee deposits*, ciri-ciri litologinya adalah: batulanau, sortasi buruk, sisipan batupasir dan batulempung dengan susunan tidak teratur, bentuk batupasir dan batulempung adalah *lenticular*, struktur sedimen *flaser bedding*. Sub-lingkungan *distributary channel* akan membentuk cabang-cabang aliran (*crevasse*) di sub-lingkungan rawa dengan cara memotong tanggul alam (*natural levee*), hasil endapannya disebut *splay deposits*, ciri-ciri litologinya adalah: batupasir berlapis, *splay deposits* berubah secara berangsur ke arah lateral menjadi *overbank deposits*. (Allen, *et al.*, 1998; Rahmad, B., 2001) (Gambar 7).



Sistem progradasi pengendapan deltaik Lower Kutai Basin (Allen et al., 1998)



Gambar 6. Penampang progradasi sistem deltaik dan pengendapan batubara di lingkungan Delta Plain di Lower Kutai Basin (Allen et al., 1998) dan gambar perkembangan progradasi Delta Sangatta Kalimantan Timur (Rahmad, B., 2001)



Gambar 7. Model Pengendapan Coal Swamp (a) di Delta Plain, Lower Kutai Basin (Allen et al., 1998) and (b) Sangatta Deltaik (Rahmad, B., 2001)

1.7 MODEL GEOMETRI BATU BARA

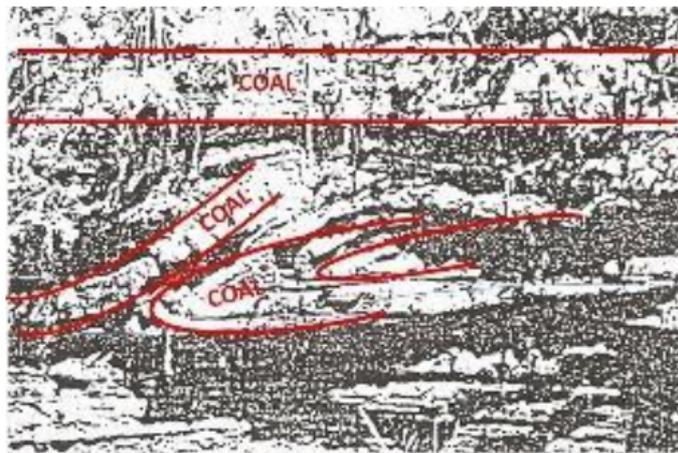
1.7.1 Kajian Teori Struktur Geologi Lapisan Batu Bara

1.7.1.1 Faktor Syn-Depositional

Secara umum sedimen pembawa batu bara diendapkan mulai dari tepi hingga tengah cekungan, sedangkan struktur geologi sangat berpengaruh terhadap akumulasi sedimen dan jumlah suplai material rombakan yang diperlukan guna mengetahui runtunan lapisan batu bara, sebaran dan ciri lingkungan pengendapannya. Efek diagenesis selama akumulasi sedimen berlangsung bisa menyebabkan deformasi struktur (pensesaran dan perlipatan), seperti gaya tekan ke arah bawah terhadap semua lapisan sedimen dan batu bara.

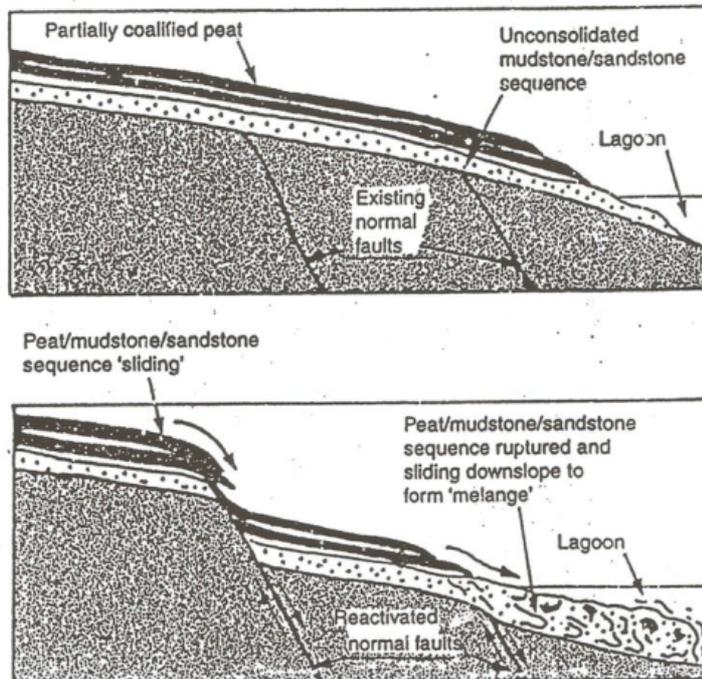
1.7.1.2 Faktor Mikro-Struktur

Gabungan akumulasi ketebalan sedimen dan kecepatan penurunan cekungan menyebabkan ketidakstabilan terutama di bagian tepi cekungan. Akibat adanya struktur pembebanan ketika sedimen masih dalam bentuk fluida, menyebabkan sedimen pembawa batu bara terlihat berbentuk struktur *slumping* (Gambar 8, hal. 71), ciri ini seperti: injeksi sedimen ke dalam lapisan bagian atas dan bawah (klastik dike). Kehadiran *perselingan mudstone, sandstone* dan *batu bara* di bawah kondisi struktur pembebanan, bisa menyebabkan perubahan variasi lapisan batu bara seperti: erosi di bagian dasar lapisan batu bara oleh *channel sandstone, flame structure, distorted* dan *dislocated ripples, fold and contorted bedding*.



Gambar 8. Struktur deformasi akibat pembebanan sedimen menghasilkan *distorted* dan *dislocated bedding* terhadap lapisan batu bara (Thomas, 2005)

Gangguan ketidakstabilan lingkungan pengendapan, merupakan salah satu petunjuk adanya reaktivasi kembali sesar-sesar normal akibat struktur pembebanan dari akumulasi sedimen di cekungan, umumnya menghasilkan sedimen sistem aliran gravitasi (*gravity flow*) (Gambar 9, hal. 72).



Gambar 9. Ketidakstabilan cekungan batu bara di beberapa tempat, menyebabkan reaktivasi kembali sesar normal half graben, terjadi longsoran gravity sliding (slumping) (Thomas, 2005)

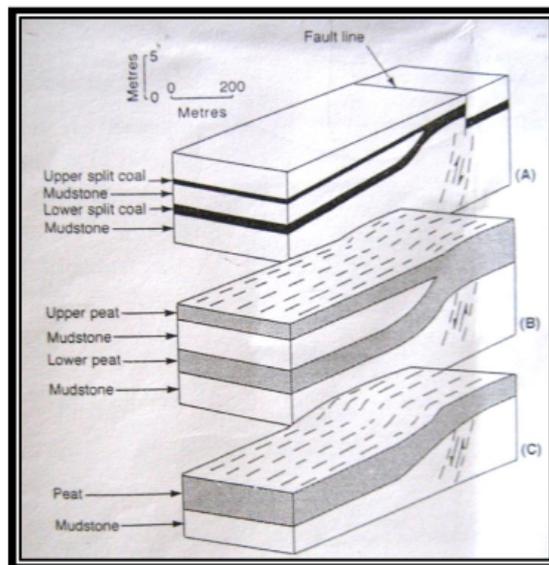
1.7.1.3 Faktor Makro-Struktur

Sesar dalam cekungan sedimen bisa menerus dan aktif kembali sehingga bisa mempengaruhi lapisan batu baranya, seperti: ketebalan serta karakter susunan lapisan sedimennya. Pengaruh sesar *growth fault* dalam cekungan tektonik bisa menyebabkan penebalan lapisan batu bara secara setempat, hal ini disebabkan penurunan cekungan akibat pensesaran. Sedangkan di daerah paparan relatif stabil dan kecepatan penurunan relatif lebih lambat. Dengan demikian kecepatan progradasi pengendapan sedimen yang dikontrol oleh *growth fault* relatif lebih cepat dibandingkan pengendapan di daerah paparan.

Sesar *growth fault* berpengaruh terhadap proses pengendapan sedimen, bidang sesar *growth fault* tersebut merupakan zona bidang gelincir (*failure*) menyebabkan *gravity sliding* berupa longsor sedimentasi di cekungan tersebut.

Tekanan yang sangat kuat terhadap batupasir lempungan yang belum kompak menyebabkan gradien patahannya besar. Bagian atasnya curam dan landai ke arah bidang lapisan patahan (*flexure*) di sepanjang *roof* lapisan batu bara. Sesar-sesar tersebut akan mengerosi sebagian, sebelum sedimennya longsor ke bawah.

Lapisan batu bara yang mengalami *splitting* (bercabang) merupakan petunjuk adanya sesar *growth fault* (Gambar 10). Reaktivasi kembali sesar-sesar tersebut dapat menghasilkan bentuk lapisan batu bara yang melengkung ke bawah dan ke atas, dan selanjutnya diikuti lapisan sedimen non batu bara yang bentuknya melengkung juga.



Gambar 10. Menjelaskan kemungkinan terbentuknya *splitting* lapisan batu bara yang disebabkan perubahan pergerakan sesar selama pengendapan gambut berlangsung (Thomas, 2005)

Keterangan Gambar 10:

Gambar 10 (A), Pergerakan sesar mengakibatkan pelengkungan lapisan batu bara.

Gambar 10 (B), Ketika lapisan gambut mengalami pelengkungan, di atasnya diendapkan sedimen *mudstone*, dan setelah aktivitas berhenti akumulasi gambut berkembang lagi menyesuaikan level semula dari bagian *top* lapisan gambut yang tidak mengalami *splitting*.

Gambar 10 (C), Pergerakan sesar terhadap lapisan batu bara memberikan 2 pengertian, sebagian mengalami pengangkatan sebagai awal batu bara tersebut akan *splitting* dan sebagian mengalami penurunan menghasilkan *splitting* batu bara.

Perubahan secara periodik di level dasar lingkungan delta plain serta pengaruh pergerakan sesar, menyebabkan perubahan karakter perkembangan batu bara, hal ini seiring dengan naiknya muka air rawa. Dengan demikian batu bara akan berkembang lebih intensif, sedangkan pengaruh masuknya material rombakan non batu bara sangat kecil, sehingga kandungan abu (*ash*) batu baranya rendah. Jika terjadi penurunan muka air, maka akumulasi batu bara akan terhambat perkembangannya, sedang material rombakan sedimen semakin besar menyebabkan kandungan abu (*ash*) tinggi atau bahkan seluruh lapisan batu bara ashnya bisa tinggi.

Di sisi lain batu bara yang terendam air (*low moor*) kemungkinan bisa terkontaminasi air laut, sehingga menghasilkan kandungan sulfur yang lebih tinggi terutama di bagian top lapisan batu bara.

Growth fold bisa mempengaruhi pola pengendapan cekungan batu bara, adanya kecepatan erosi dan sedimentasi menyebabkan pengendapan batu bara di beberapa tempat. Adanya pemotongan *channel* oleh suplai rombakan sedimen yang terus membumbung dapat membentuk *sand bar* (Gambar 16, hal. 82).

Akumulasi gambut yang terus berkembang dalam runtunan lapisan sedimen *mudstone* yang tebal, membentuk lipatan *oversteeply*, hal ini disebabkan *mudstone* tersebut terkompresi ke

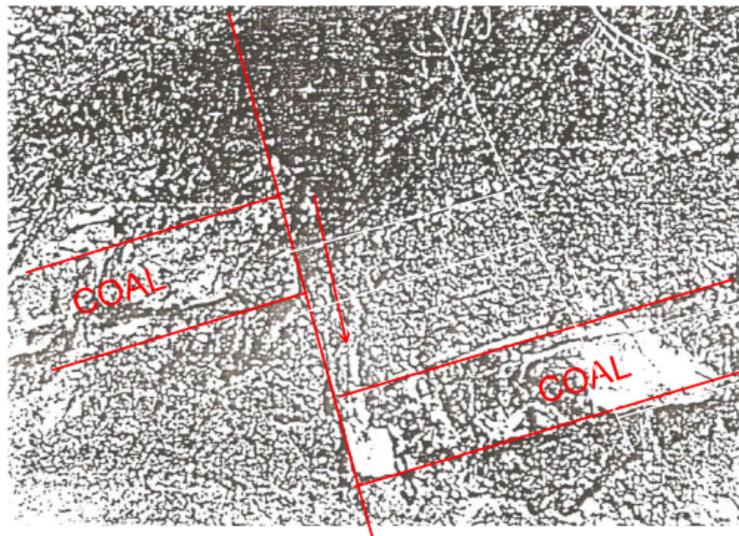
arah bawah di kedalaman tertentu, menyebabkan lapisan sedimen tertekan ke atas, akibatnya secara setempat di daerah tersebut membentuk *antiklin-sinklin*, selain itu terlihat intrusi sedimen klastik dari bawah menerobos lapisan sedimen di atasnya.

1.7.1.4 Post-Depositional

Struktur geologi yang dihasilkan dari *post-depositional* adalah: kekar, sesar, dan lipatan. Kehadiran mineral presipitasi seperti gypsum juga merupakan hasil *post-depositional*.

a. Sesar

Sesar normal sebagai produk tegasan utama vertikal hasil gaya gravitasi, sesar normal umum dijumpai di lapisan batu bara yaitu di bagian sayap-sayap lipatan, pergeserannya dapat mencapai beberapa meter, dip bidang sesar normal mulai 60° - 70° (Gambar 11).



Gambar 11. Sesar normal di lapisan batu bara (Thomas, 2005)

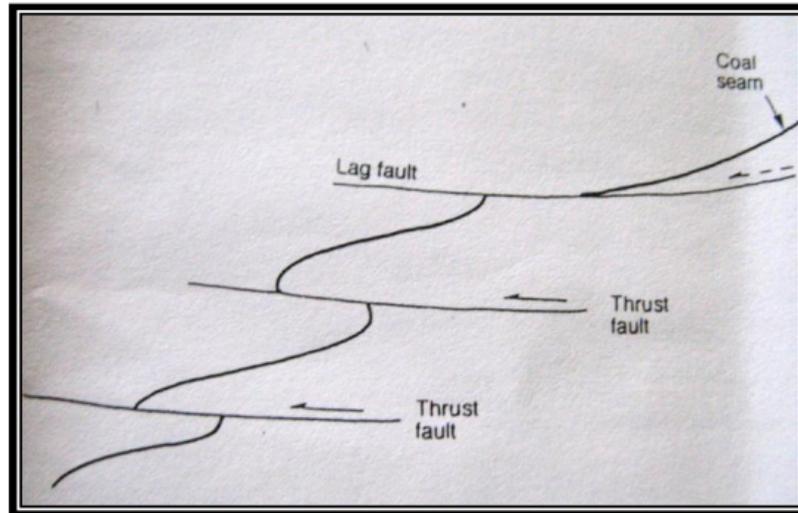
Sesar dapat menyebabkan seretan (*drag*) sepanjang bidang patahan, sehingga batuan sekelilingnya juga bergeser sepanjang

arah pergeseran dari sesar tersebut. Apabila berupa sesar besar (*major fault*) maka sesar tersebut dapat menggeser seluruh lapisan batuan dan batu bara hingga beberapa meter, di mana zona sesar tersebut berupa bidang hancuran.



Gambar 12. Zona sesar di *high wall* tambang terbuka (Thomas, 2005)

Pembentukan sesar normal dalam skala besar disebabkan oleh gaya *tension* yang tertarik karena regangan (*rifting*) di *continental crust*, searah dengan sesar-sesar normal yang terjadi secara lokal area, sesar normal skala besar tersebut membentuk struktur geologi *half grabben*.



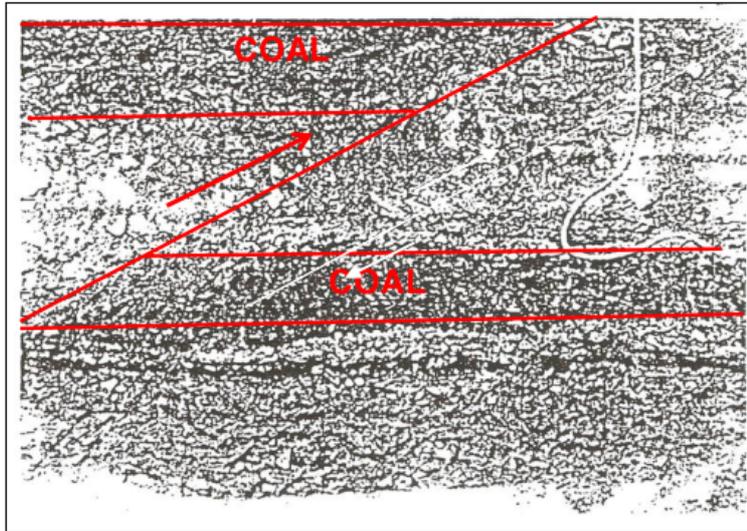
Gambar 13. Sesar *Lag Fault* di Atas *Thrust Fault* (Thomas, 2005)

Bidang sesar sudut kecil menyebabkan pergerakannya relatif turun disebut sebagai sesar *lag fault*. *Lag fault* berasal dari *retardation hanging wall* selama pergerakan berlangsung.

Sesar *lag fault* terletak di bagian atas dari *thrust fault*, sesar ini terbentuk karena *retardation* selama pergeseran berlangsung (Gambar 13, hal. 38).

Pembentukan sesar *reverse fault* disebabkan oleh sistem arah tegasan utamanya horizontal sedang tegasan terkecil adalah vertikal.

Sesar *reverse fault* dengan bidang sesar sudut kecil ($< 45^\circ$) lebih umum ditemukan (Gambar 14).

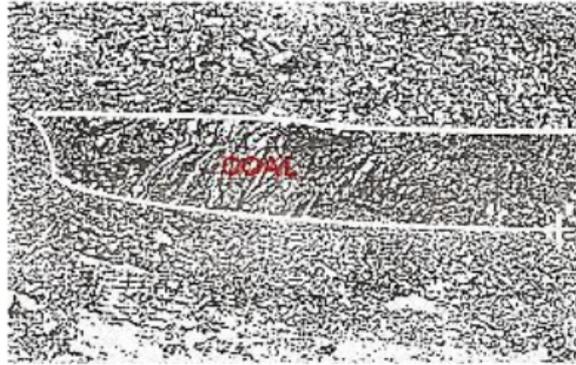


Gambar 14. Pergeseran lapisan batu bara akibat *reverse fault* (Thomas, 2005)

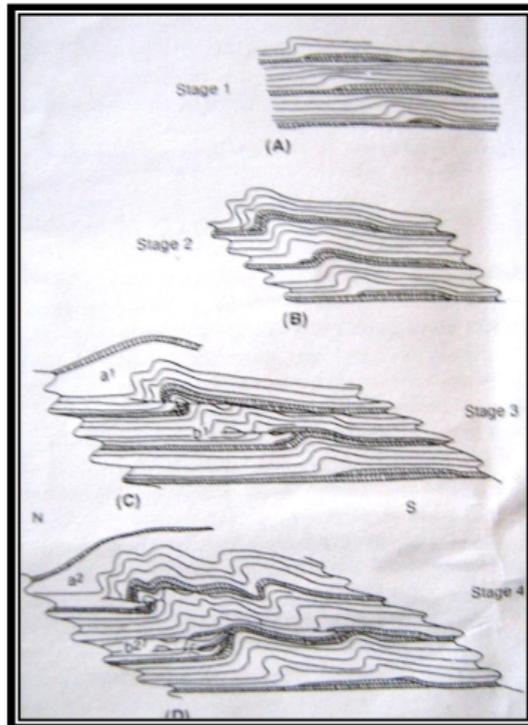
Apabila bidang sesar sudutnya kecil, pergeserannya lateral, maka sesar tersebut bisa digolongkan sebagai *thrust fault*. Bentuk sudut kecil sesar *reverse fault* dikontrol oleh batuan-batuan yang tersesarkan, terutama sekali bahwa bidang sesar *thrust fault* pergerakannya relatif mengikuti bidang perlapisan batuan dan sebagian memotong perlapisan batuan.

Susunan lapisan batu bara, terdiri dari *seat earth* dan *mudstone* dengan sisipan batupasir, kadang-kadang bila bidang sesar sudut kecil pergerakannya sering mengikuti *roof* atau *floor* dari lapisan batu bara. Akibat dari peristiwa tersebut adalah penurunan kualitas batu bara, karena terkontaminasi oleh rombakan batuan sekelilingnya.

Tegasan tektonik yang bekerja terhadap lapisan batu bara menghasilkan *shear-shear* dan pensesaran lapisan batu bara, *shear* tersebut membentuk pola *shear arcuate* (Gambar 15).



Gambar 15. Pembentukan *shear* yang kuat dan berkembang menjadi zona thrust fault terhadap seam lapisan batu bara (Thomas, 2005)



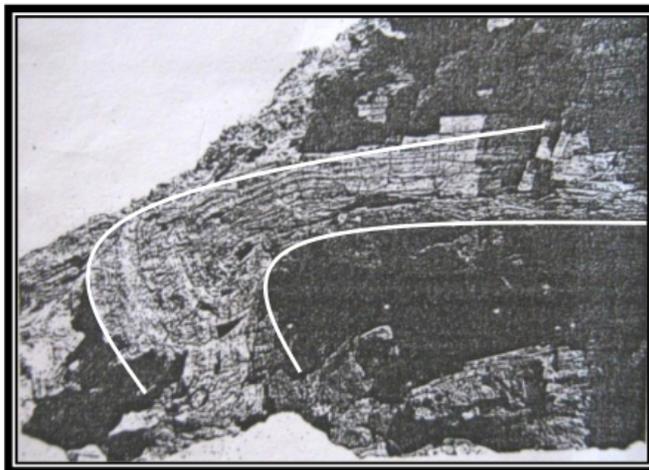
Gambar 16. Empat tahap model "*progressive easy-slip thrusting*" (perkembangan sistim *thrust-slip*) (Thomas, 2005)

Keterangan Gambar 16.

- A. *Thrust* berkembang simultan dan mendatar sepanjang *floor* lapisan batu bara yang mengalami *overpressured*, kemudian sebagian *roof* dari *seam* tersebut terpotong, lipatan mulai berkembang diikuti dengan mulai berkembangnya *thrust*.
- B. Menerusnya *thrust* hingga ke bagian ujung lipatan hingga bagian bawah dari ujung lipatan, selanjutnya menuju ke bagian atas dari *thrust* yang lebih tinggi menghasilkan *down ward facing cut-offs*.
- C. Bergesernya *seam* secara menerus hingga *thrust* yang lebih tinggi menghasilkan pecahan-pecahan batu bara (*break back thrusting*) di sekitar *hanging wall* dan *foot wall*nya. Secara setempat *thrust fault* akan memotong bagian bawah lapisan batu bara sesuai arah transpornya.
- D. Bentuk susunan *hanging wall* yang khas akibat terpecah-pecah menghasilkan bentuk geometri yang khas dengan struktur di bagian bawah *thrust* tanpa ada hubungannya dengan *thrust* di bagian atasnya, sedangkan *foot wall* semakin lama juga terpecah-pecah menghasilkan lipatan *thrust* (*folded thrust*).

b. Lipatan

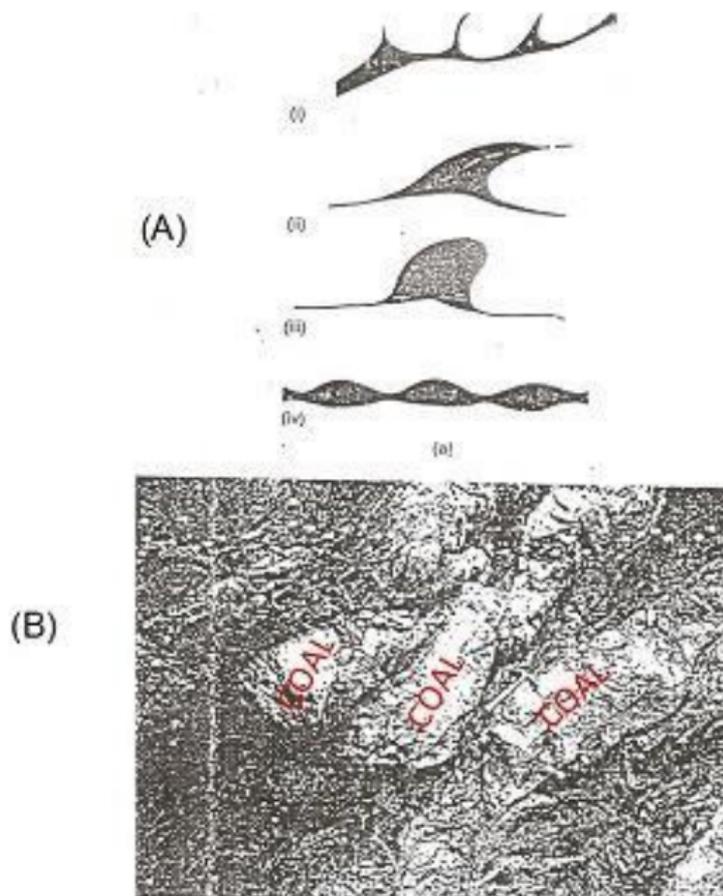
Batu bara dalam susunan runtunan lapisan umumnya terlipat menjadi beberapa jenis lipatan (Gambar 17).



Gambar 17. Sedimen pembawa batu bara yang mengalami perlipatan (Thomas, 2005)

Kendala di lapangan adalah pembuktian bahwa *dip* tersebut adalah *true dip* atau *apparent dip* harus hati-hati, demikian juga adanya *dissected terrain dip* bisa tampak di sisi lembah. Hal ini kemungkinan bukan sebagai *true dip* perlapisan tetapi refleksi tinggian struktural secara lokal, umumnya berupa tepi cekungan yang tidak stabil, menyebabkan terjadi pergerakan massa sedimen berbentuk *slumping* dan terlihat seperti perlapisan atau lipatan, dengan demikian kemiringan *dip* lapisan tampak sangat curam.

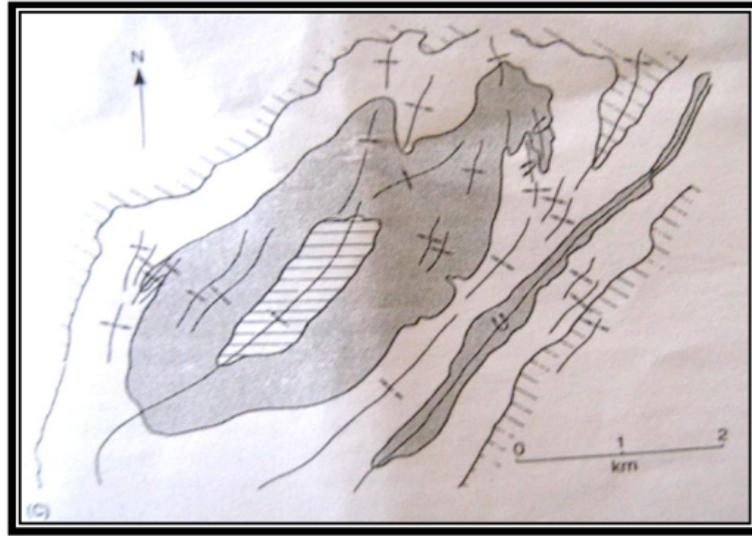
Gaya kompresi terhadap lapisan batu bara selama perlipatan menghasilkan lipatan antiklin landai disertai adanya *thrust* sepanjang tonjolan (*nose*) dari lipatan tersebut, bentuk seperti ini adalah jenis antiklin *queue*. Lapisan bisa mengalami penipisan di bagian tengah (*pinch out*) sepanjang sayap lipatan *fold limb* dan terlihat seperti aliran sepanjang sumbu antiklin. Peristiwa tersebut kira-kira berasal dari 2 arah normal antara satu dengan lainnya, batu bara tersebut terkonsentrasi sehingga membentuk struktur *pepper-pot*, gambaran umum seperti ini hanya dijumpai di daerah tektonik kuat, sehingga mengalami deformasi yang intensif (Gambar 18).



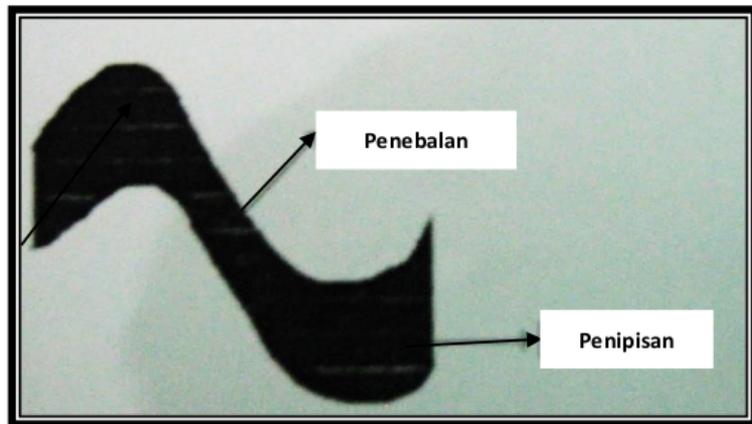
Gambar 18 (A) Deformasi tektonik karena gaya kompresi dan (B) Gaya kompresi terhadap lapisan batu bara di sepanjang perlapisan batupasir (Thomas, 2005)

Gambar 18 (A) Deformasi tektonik karena gaya kompresi:

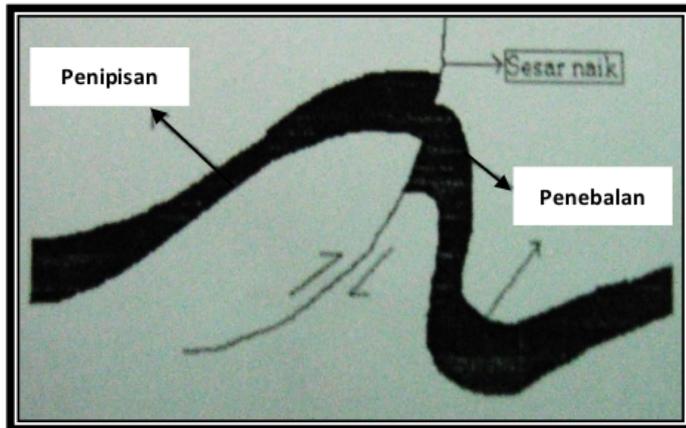
- i) Gaya tekanan terhadap perlapisan batu bara
- ii) Jenis antiklin "*queue*"
- iii) Jenis struktur "*pepper-pot*"
- iv) Jenis struktur "*rosary*"



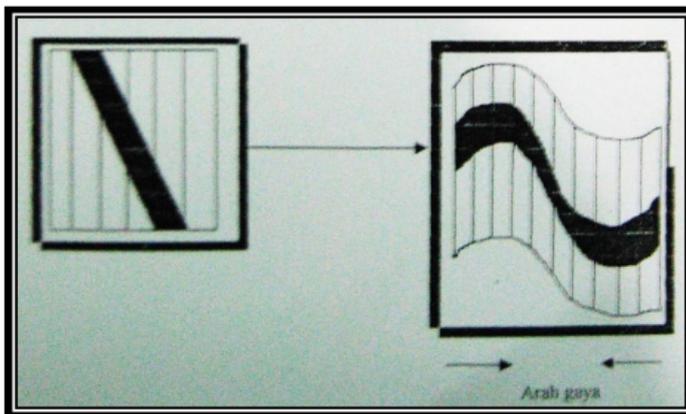
Gambar 19. Lipatan asimetri, berupa sinklin dan antiklin *steeply* dan *thrust fault* (Thomas, 2005)



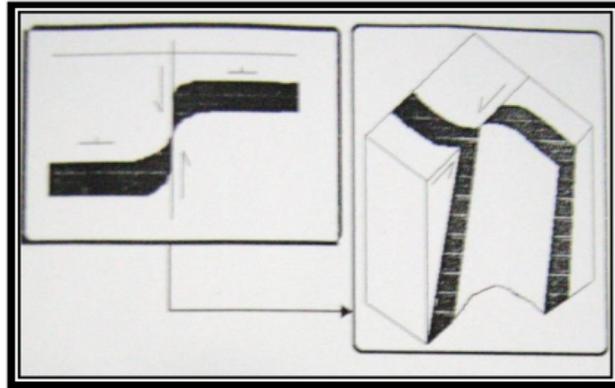
Gambar 20. Lipatan asimetri, berupa sinklin dan antiklin *steeply* dan *thrust fault* (Fadilah, 2005)



Gambar 21. Pembentukan sesar naik melalui proses lipatan (Fadilah, 2005)



Gambar 22. Model pembentukan lipatan diikuti oleh penebalan dan penipisan di beberapa bagian lipatan (Fadilah, 2005)



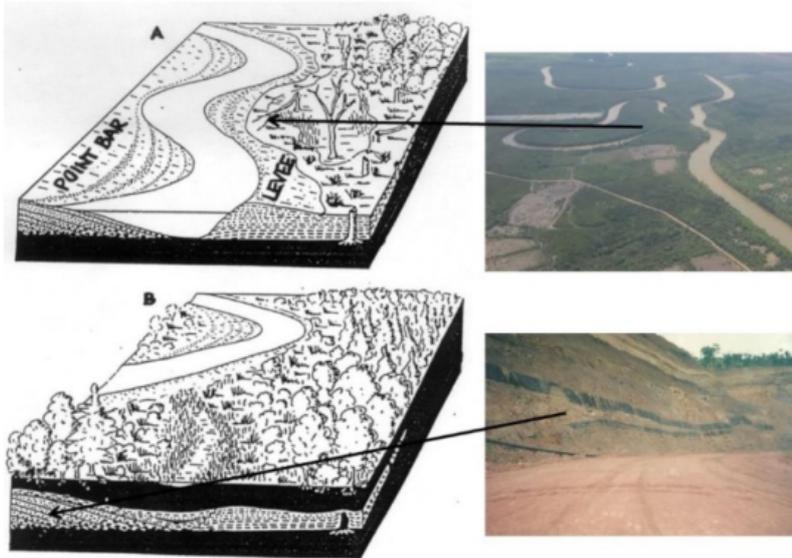
Gambar 23. Model pembentukan sesar mendatar yang diikuti oleh seretan dan perubahan arah kedudukan lapisan (Fadilah, 2005)

1.7.2 Kajian Sedimentasi Batu Bara terhadap Pembentukan *Splitting* Batu Bara

Splitting merupakan gejala umum yang terjadi di lapisan batu bara secara lateral, *splitting* terlihat bercabang minimum menjadi 2 (dua) cabang.

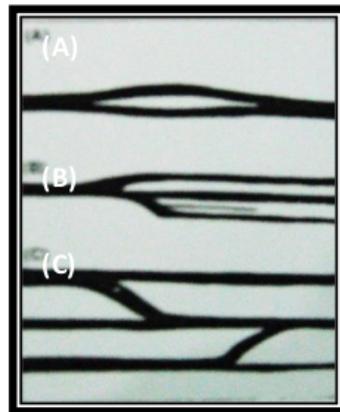
Material bukan batu bara dalam suatu lapisan batu bara merupakan lapisan sedimen pemisah yang disebut sebagai *parting* atau *band*. *Parting* atau *bands* merupakan hasil pengendapan klastik bercampur dengan akumulasi organik.

Kehadirannya bisa melalui endapan *crevasse-splay deposit* atau *overbank deposit*. *Parting* berkembang dengan baik secara lateral, kehadirannya berupa batulempung (*mudstone*, *shally coal* atau *coally shale*) yang tersebar luas berbatasan dengan sungai (Gambar 24).



Gambar 24. Model pembentukan splitting lapisan batubara di daerah Sangatta Deltaik (Diessel, 1992; Rahmad, B., 2001)

Splitting lapisan batu bara bisa berbentuk sederhana atau rumit dari lapisan organik dan material klastik (Gambar 25).



Gambar 25. Bentuk umum *splitting seam* batu bara (Thomas, 2005)
 A. *Simple Splitting*, B. *Multiple Splitting* dan C. Bentuk *Splitting "Z"* atau "*S*"

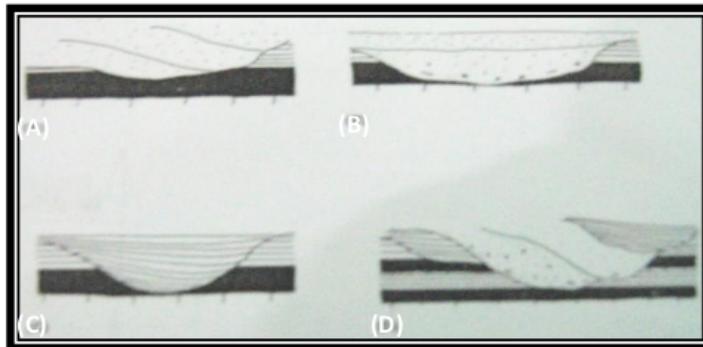
Bentuk *simple splitting* terbentuk ketika akumulasi organik berlangsung, kemudian ada jeda waktu pengendapan dan diganti oleh endapan klastik setelah itu vegetasi kembali tumbuh, dan akumulasi organik berlanjut lagi.

Bentuk *splitting* lapisan batu bara yang lain seperti "S" atau "Z". Bentuk tersebut dicirikan oleh 2 *seam* lapisan batu bara yang terpisah sedimen. Penyebab lain *splitting* batu bara adalah pengaruh sesar *growth fault* (gambar 10, hal 75).

Splitting sudut besar (*inclined splits*) merupakan salah satu penyebab ketidakstabilan dinding tambang dalam operasi penambangan, kehadiran *mudstone* sebagai media bidang gelincir, kekar dalam lapisan batupasir sebagai media aliran air bawah permukaan dan bentuk *incline splits* merupakan *slope* lereng yang curam, faktor-faktor tersebut akan membentuk lereng bidang gelincir (*failure*), sehingga longsor batuan di dinding tambang sangat mudah sekali terjadi.

1.7.3 Kajian Sedimentasi Batu Bara terhadap Pembentukan Washout Batu Bara

Washout terjadi karena *seam* lapisan batu bara tererosi kembali oleh *channel* sungai, dan arah aliran *channel* tersebut maka akan membawa material sedimen klastik. *Washout* umumnya berbentuk *elongated* dan terisi material klastik seperti *mudstone*, *siltstone* dan *sandstone*, hal ini tergantung dari sumber batuan yang tererosi dan ditranspor yang akan mengisi *channel* tersebut, semakin rendah energi aliran, maka ukuran butirannya semakin halus (Gambar 26).



Gambar 26. Pemotongan *channel* terhadap *seam* batu bara (Thomas, 2005)

A. *Channel* Batupasir memotong *roof seam* batu bara, B. *Channel* batupasir dan rombakan batu bara mengerosi *seam* batu bara, C. *Channel mudstone* mengerosi *seam* batu bara, D. *Channel* batupasir, rombakan batu bara, *mudstone* mengerosii *seam* batu bara



Gambar 27. *Channel washout* pada lapisan batu bara (Rahmad, B., 2001)

1.8 PENGAMATAN BATU BARA

Salah satu pengambilan contoh dapat dilakukan dengan preparasi *ply by ply* berdasarkan kenampakan litotipe secara makroskopis. Selanjutnya masing-masing contoh direduksi ukurannya, dan

dilakukan komposit kemudian dibagi menjadi dua untuk arsip dan analisis laboratorium.

Menurut Bustin dkk. (1983) dijelaskan bahwa litotipe dibedakan berdasarkan pengamatan secara makroskopi material batu bara yang berukuran *hand specimen*. Variasi secara vertikal dan lateral dalam *seam* batu bara dengan karakteristik *banded* (berlapis), merupakan salah satu ciri komposisi litotipe. Adanya perubahan refleksi dalam komunitas tumbuhan menimbulkan perubahan *layer* dalam gambut dan hal itu sama dengan perubahan refleksi dalam kondisi kimia dan fisika yang akan mempengaruhi proses pengawetan material tumbuhan dalam rawa serta pengaruh masuknya *mineral matter* ke dalam rawa gambut.

Menurut ICCP (1963) dalam Bustin dkk. (1983) litotipe secara makroskopi dapat dikenal melalui *band-band* pada batu bara tipe humik (*humic coal*), dan dapat digambarkan dalam 4 litotipe: vitrain, clarain, durain dan fusain. Sedangkan menurut Stach (1982), dengan definisi yang sama menyebut litotipe sebagai sifat makroskopi yang dapat dikenal melalui *band-band* pada *seam* batu bara, termasuk 2 litotipe untuk batu bara tipe sapropelik (*sapropelic coal*) yaitu *cannel coal* dan *boghead coal*. Menurut Stach dkk., (1982) umumnya gambaran makroskopi yang mencolok *sapropelic coal* adalah kilap kusam (*dull lustre*), tekstur homogen, tidak berlapis, dan kekuatannya tinggi (*high strength*). Pecahan konkoidal khususnya untuk *cannel coal*. *Cannel coal* dan *boghead coal* sulit untuk dibedakan secara makroskopi, *boghead coal* sedikit banyak lebih coklat dibanding *cannel coal* serta mempunyai gores coklat. Keempat litotipe tersebut di atas dalam ICCP *handbook* dalam Bustin dkk. (1983), mengutamakan tentang adanya 4 (empat) kenampakan bahan tumbuhan asal dalam batu bara bituminus (Bustin dkk., 1983), di mana ketebalan minimum *band* atau *layer* batu bara adalah 10 mm.

Diessel (1965) dalam Bustin dkk. (1983), memberikan alternatif lain untuk deskripsi makroskopi batu bara yaitu

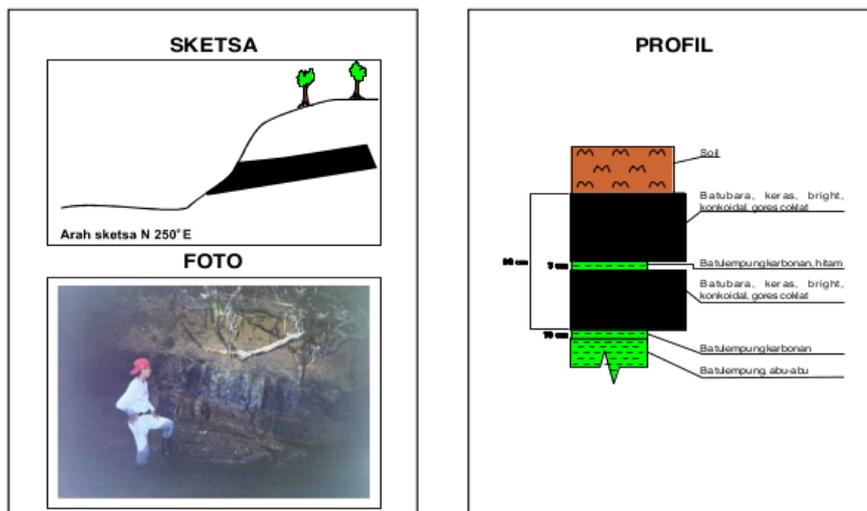
berdasarkan komponen terang (*bright*) dan kusam (*dull*) dan litotipe didefinisikan berdasarkan proporsi tumbuhan asal dalam layer batu bara. *Bright* dan *dull* dapat digunakan dengan bebas sebagai ganti pendapat sebelumnya dan ketebalan minimum band atau layer batu bara adalah 5mm. Berikut tabel korelasi litotipe menurut Stopes (1919) dengan penggunaan batu bara di Australia (Modifikasi Diessel, 1965); dalam Bustin dkk. (1983) (Tabel 1). Salah satu contoh pengamatan singkapan batu bara di lapangan dapat dilihat di Gambar 28.

Tabel 1. Korelasi litotipe menurut Stopes, 1919, dengan penggunaan batu bara di Australia (Modifikasi Diessel, 1965); dalam Bustin dkk., 1983.

Stopes, 1919	Australian Coals	Deskripsi
Vitrain	<i>Bright coal</i>	Kilap kaca - seperti kaca, pecahan konkoidal (< 10 % <i>dull</i>)
	<i>Banded bright coal</i>	<i>Bright coal</i> , sebagian <i>bands</i> tipis dan <i>dull</i> (40-60% <i>dull</i>)
Clarain	<i>Banded coal</i>	<i>Bright coal</i> dan <i>dull coal</i> dengan proporsi sama (40-60% <i>dull</i>)
	<i>Banded dull coal</i>	<i>Dull coal</i> , sebagian <i>bands bright</i> , tipis (10-40% <i>bright</i>)
Durain	<i>Dull coal</i>	<i>Matt lustre</i> , pecahan tidak sempurna (<i>uneven</i>); (<10% <i>bright</i>)
Fusain	<i>Fibrous coal</i>	<i>Satin lustre</i> , <i>friable</i>

DESKRIPSI SINGKAPAN BATUBARA

GEOLOGIST	: Afik & Kukuluh	TEBAL	: 90 cm
TANGGAL	: 22 Juli 2006	WARNA	: hitam
LINTASAN	: Sungai Boan	KILAP	: bright
LOKASI PENGAMATAN	: AK 15	PECAHAN	: konkoidal
NO. SAMPEL	: OC 15	GORES	: coklat
KONDISI SINGKAPAN	: segar	KEKERASAN	: keras
KOORDINAT	: S E	CLEAT	: N 3° E / 72° N 10° E / 86° N 350° E / 77°
EPE	: 4	SPASI CLEAT	: 0,1 - 2 cm
ELEVASI	: 143 m	PENGOTOR	: lapisan batulempung karbonan, tebal 3 cm
KEDUDUKAN LAPISAN	: N 295° E / 14°	KONDISI DI ATAS SINGKAPAN	: hutan
PENGUKURAN KEDUDUKAN	: top batubara		



Gambar 28. Contoh pengamatan singkapan batu bara (koleksi penulis)

2

KUALITAS BATU BARA

2.1 PENDAHULUAN

Kualitas batu bara dalam arti pokok adalah sifat kimia dan fisik batu bara yang mempengaruhi dalam potensi penggunaannya.

Hal-hal pokok yang harus diketahui dari sifat kimia dan fisika batu bara, terutama sifat-sifat yang sudah ditentukan, apakah batu bara tersebut dapat digunakan secara komersial. Batu bara memerlukan penjelasan/fakta kualitas yang mempengaruhi untuk memilih penggunaannya, seharusnya memenuhi persyaratan, selanjutnya untuk dapat menambangnya serta menjual sebagai produk yang murni atau jika kualitasnya dapat ditingkatkan, selanjutnya dapat sebagai pencampur (*blending*) dengan batu bara terpilih lainnya supaya mencapai produk batu bara yang bisa terpasarkan.

Kualitas batu bara ditentukan oleh kandungan maseral dan *mineral matter* dari batu bara serta derajat pembatubaraan (*rank*). Makalah ini akan menjelaskan lebih detail guna mengetahui secara analitis dan prosedural untuk menentukan sifat kimia dan fisika batu bara.

Suatu pengetahuan dari kebanyakan penentuan umum sifat-sifat batu bara adalah sangat penting, khususnya gangguan terhadap batu bara. Analisis batu bara terutama di dalam evaluasi endapan batu bara, seperti mengenali *seam* atau bagian-bagian *seam* yang tidak dapat diterima ketika batu bara tersebut bisa

tambang atau tidak, *seam* atau bagian *seam* tersebut yang akan menghasilkan suatu produk premium untuk pra-penentuan pasar. Hal ini kemungkinan bahwa setelah dilakukan analisis batu bara, sampai sekarang sifat-sifatnya tidak diketahui bisa meningkatkan produk atau bahkan memberi kesan suatu perbedaan akhir dalam penggunaan batu bara, seperti penemuan/pendapat bahwa suatu batu bara mempunyai sifat coking yang baik ketika batu bara tersebut semula dipertimbangkan untuk produk *steam coal*.

Secara garis besar diberikan dasar-dasar sifat kimia dan fisika batu bara serta bagaimana mengartikan dalam kaitannya dengan pemanfaatan batu bara.

2.1.1 Basis Data

Untuk mempermudah perbandingan antara satu hasil analisis dengan yang lain, maka ditetapkan basis standard dengan persyaratan tertentu untuk setiap analisis maupun uji yang dilakukan. Basis standar tersebut adalah:

- *Air dried basis*
- *Dry basis*
- *Dry & ash free basis*
- *Pure coal (dry & mineral matter free) basis*

Adanya tampilan *air dried basis* menunjukkan bahwa uji dan analisis dilakukan dengan menggunakan sampel uji 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.

Tampilan *dry basis* menunjukkan bahwa hasil uji dan analisis dengan menggunakan sampel uji yang telah dikeringkan di udara terbuka seperti di atas, lalu dikonversikan perhitungannya untuk memenuhi kondisi kering.

Dry & ash free basis merupakan suatu kondisi asumsi di mana batu bara sama sekali tidak mengandung air maupun abu. Adanya tampilan *dry & ash free basis* menunjukkan bahwa hasil analisis dan

uji terhadap sampel yang telah dikeringkan di udara terbuka seperti di atas, lalu dikonversikan perhitungannya sehingga memenuhi kondisi tanpa abu dan tanpa air.

Pure coal basis berarti batu bara diasumsikan dalam keadaan murni dan tidak mengandung air serta zat mineral lainnya. Kondisi ini disebut pula dengan nama *dry & mineral matter free basis*.

Tabel 2. Basis uji & analisis serta singkatan yang dipakai (Ward, 1984)

Basis	Unsur Kandungan	Singkatan
<i>As received basis</i>	Sama seperti saat diterima	a r
<i>Air dried basis</i>	Dikeringkan dengan udara bebas	a d
<i>Dry basis</i>	Tanpa kandungan air	d
<i>Dry, ash free basis</i>	Tanpa kandungan air dan abu	d a f
<i>Pure coal basis</i>	Tanpa kandungan air dan zat mineral lain (<i>dry mineral matter free</i>)	d m m f

2.2 SIFAT KIMIA BATU BARA

Secara sederhana dalam kaitannya dengan batu bara maka substansi batu bara dibangun oleh: *moisture*, *pure coal* dan *mineral matter*.

Moisture terdiri dari *surface moisture* dan ikatan kimiawi *moisture (inherent moisture)*, *pure coal* ditandai dengan kehadiran sejumlah organik matter, sedangkan *mineral matter* ditandai dengan kehadiran sejumlah material anorganik, yang mana ketika batu bara terbakar akan menghasilkan abu/*ash*. Secara jelas bahwa dekomposisi selama pemanasan dari beberapa mineral anorganik, hal ini berarti bahwa komposisi abu/*ash* tidak sama dengan komposisi *mineral matter*.

Analisis kimia batu bara sering dilaporkan sebagai hasil analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori. Analisis proksimat adalah analisis yang luas untuk menentukan sejumlah *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon* dan *ash*. Hal ini paling mendasar dari semua

analisis batu bara serta yang paling penting dalam penerapan penggunaan batu bara. Pengujian batu bara adalah lebih tinggi ketergantungannya pada prosedur penggunaannya dengan perbedaan hasil yang adalah diperoleh dengan menggunakan perbedaan temperatur dan waktu. Oleh karena itu penting untuk diketahui prosedur penggunaan serta dasar pelaporannya.

Analisis ultimat adalah untuk menentukan unsur-unsur kimia dalam batu bara, seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Sebagai tambahan, diperlukan perhitungan dari sejumlah unsur-unsur tersebut harus secara langsung dan tegas pada penggunaan batu bara. Hal ini termasuk pembentukan sulfur, chlorite, dan fosfor, suatu analisis dari unsur-unsur tersebut terkandung di dalam *mineral matter* batu bara serta pemilihan unsur-unsur jejak.

2.3 ANALISIS PROKSIMAT

Hasil analisis proksimat memberikan gambaran banyaknya senyawa organik ringan (*volatile matter*) secara relatif, karbon dalam bentuk padatan (*fixed carbon*), kadar *moisture*, dan zat anorganik (*ash*), hingga mencakup keseluruhan komponen batu bara, yaitu batu bara murni ditambah bahan-bahan pengotornya. Analisis proksimat merupakan cara mengevaluasi batu bara yang paling sederhana, oleh karena itu sangat banyak dilakukan orang.

Analisis proksimat lebih merupakan suatu "kesepakatan", agar pengguna dapat lebih mengetahui karakteristik batu bara yang dibelinya. Selain itu, analisis ini juga relatif mudah untuk dilakukan.

2.3.1 Total Moisture

Yang dimaksud dengan kandungan air total (*total moisture*) adalah keseluruhan jumlah kandungan air berbagai jenis yang terdapat dalam sampel batu bara yang diambil. Pada prinsipnya, hal ini dihitung dari jumlah penurunan berat pra pengeringan (*pre-drying loss*) pada temperatur $< 35^{\circ}\text{C}$ ditambah penurunan berat pengeringan panas pada $107 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Kandungan air di dalam batu bara dapat dibagi menjadi dua jenis. Yang pertama adalah *inherent moisture* atau *residual moisture*, yaitu air yang terserap ke dalam batu bara manakala batu bara berada dalam kesetimbangan kelembaban dengan udara bebas. Yang kedua adalah *surface moisture* atau *hygroscopic moisture* (uap air higroskopis), yaitu air yang terserap dan menempel pada batu bara oleh adanya proses sekunder, misalnya dari air tanah, air penyiraman saat penambangan, air yang dipakai untuk *hydraulic mining*, air pada proses preparasi batu bara, air hujan, dan sebagainya. Jumlah kandungan kedua jenis air di dalam batu bara inilah yang disebut dengan kandungan air total (*total moisture*).

Adanya kandungan air yang berlebihan maupun terlalu sedikit dapat menimbulkan masalah dari segi *handling*. Bila kandungan air berlebihan, akan menyebabkan batu bara lengket dan menempel di berbagai tempat. Bahkan dapat pula menjadi penyebab penyumbatan pada *screen* dan berbagai peralatan lainnya. Kebalikannya, bila kandungan air sangat kurang, akan timbul masalah dengan beterbangannya debu batu bara.

Kandungan *total moisture* merupakan salah satu unsur yang penting dalam transaksi perdagangan batu bara, sehingga bila ternyata nilainya melebihi kontrak yang disepakati, maka nilai transaksi akan dikurangi sesuai dengan kelebihan yang terjadi.

Uap air higroskopis adalah kandungan air yang menempel di permukaan batu bara, dan umumnya makin halus ukuran butirnya, maka biasanya jumlahnya juga semakin banyak. Secara umum, kandungan uap air higroskopis pada batu bara kerakal dan batu bara kerakal ukuran sedang adalah sekitar 2-3%, untuk batu bara butir kecil/halus 6-7%, dan untuk batu bara sangat halus/serbuk adalah sekitar 15-30%. Uap air higroskopis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{total}_{\text{moisture}}[\text{ar}\%] = \text{surface}_{\text{moisture}}[\text{ar}\%] + \text{inherent}_{\text{moisture}}[\text{ad}\%] \times (100 - \text{surface}_{\text{moisture}}[\text{ad}\%]) / 100$$

1 Menurut ASTM, *inherent moisture* didefinisikan sebagai air yang dalam kondisi alami menunjukkan karakteristik lapisan batu bara, sehingga air yang menempel di permukaan tidaklah termasuk ke dalam *inherent moisture*.

Inherent moisture memiliki hubungan yang erat pula dengan tingkat pembatubaraan, di mana semakin tinggi tingkat pembatubarannya, maka kandungan airnya akan semakin berkurang, dan mencapai titik minimum pada C sekitar 90%.

Kandungan air dinyatakan dalam persen massa yang menunjukkan nilai berkurangnya massa/berat dari sampel batu bara, setelah dikeringkan dengan pemanasan pada 107°C selama 1 jam. Sampel batu bara yang dipakai adalah sampel yang telah dikeringkan di udara terbuka (*air dried*).

3.2 Ash (Abu)

Kandungan abu didefinisikan sebagai berikut, ketika awal proses pengabuan (insinerasi, pembakaran menjadi abu), belerang organik dan belerang pirit (*pyritic sulfur*) terbakar menjadi oksida belerang. Dengan terus melakukan pemanasan sambil mengontrol agar jumlah sulfatnya berada pada tingkat minimum selama pengabuan, dan ditambah adanya penguraian sempurna dari karbonat, maka zat sisa anorganik yang terjadi selama sulfat tidak mengalami penguraian, hal tersebut yang disebut **kandungan abu**. Pada analisis sebenarnya, sampel batu bara dibakar pada temperatur $815 \pm 10^\circ\text{C}$ di dalam media udara dengan mengikuti pola peningkatan temperatur yang telah ditetapkan. Jumlah abu yang tertinggal, lalu dihitung sebagai persen massa dari sampel. Inilah yang kemudian disebut sebagai kandungan abu (%).

Pada kondisi di atas, karbonat terurai, sedangkan sulfat tetap tinggal. Mineral lempung (*clay minerals*) kehilangan air pengkristalan, sehingga sebagian besar akan menjadi oksida logam. Dengan demikian, yang menjadi abu bukanlah mineral anorganik di dalam batu bara itu sendiri.

1

Dilihat dari proses kejadiannya, kandungan abu pada batu bara dapat dibagi menjadi kandungan abu bawaan (*inherent ash*) dan kandungan serapan.

Kandungan Abu Bawaan: Kandungan abu bawaan diperoleh dari abu yang terkandung pada tumbuh-tumbuhan yang menjadi batu bara, jumlahnya sedikit, dan sulit untuk diambil melalui proses pemisahan. Pada batu bara kilap (*bright coal*) atau *vitrite* yang berasal dari proses pembatubaraan zat kayu pada tumbuhan, jumlah kandungan abunya sedikit. Abu ini diduga merupakan abu bawaan (*inherent ash*) yang banyak mengandung kapur dan mineral alkali (basa), sedangkan kandungan asam silikat dan aluminanya sedikit. Di sisi lain, batu bara kusam (*dull coal*) yang berupa *durite* (atau *durain*) dan *fusite* (atau *fusain*) berasal dari serpihan kayu, kulit pohon, serbuk bunga, spora dan lain-lain yang bercampur dengan lumpur dan pasir, lalu tersedimentasi dan mengalami proses pembatubaraan. Karena itu, kandungan abunya banyak.

Kandungan Abu Serapan: Kandungan abu serapan terjadi akibat adanya intrusi lumpur dan pasir saat tetumbuhan tersedimentasi. Atau bisa pula terjadi setelah proses pembatubaraan berlangsung, di mana akibat adanya retakan dan sebagainya, menyebabkan lumpur dan pasir ikut tercampur masuk (*intrusi*). Abu jenis ini terdistribusi secara tidak merata di dalam batu bara, dan banyak mengandung zat-zat seperti batu lanau (*shale*), pirit, gipsum, silikat, karbonat, sulfat dan sebagainya, di mana kandungan asam silikat dan aluminanya banyak.

Kandungan abu pada batu bara, mempunyai hubungan yang erat dengan sifat-sifat batu bara itu sendiri, seperti misalnya berat jenis, ketergerusan (*grindability*), sifat ketahanan api dari abu (*ash fusibility*), nilai kalori, dan sebagainya.

Kandungan abu dan nilai kalori dari batu bara, boleh dikatakan memiliki hubungan yang hampir linear. Selain itu, kandungan abu dan berat jenis juga memiliki korelasi yang sangat

erat, di mana bila kandungan abunya banyak, maka biasanya berat jenisnya juga besar. Sifat ini lalu dimanfaatkan, sehingga dikembangkan proses pemisahan berat jenis seperti pada *hydroseparation (jig)* atau pada pemisahan media berat. Secara umum, adanya kandungan abu 1% akan berpengaruh terhadap perubahan berat jenis sebesar 0,01.

Rumus pendekatan untuk mencari nilai berat jenis batu bara diberikan sebagai berikut.

$$\text{Berat Jenis Batu Bara} = 1,25 + 0,01 \% \text{ Kandungan Abu } (\%)$$

2.3.3 Volatile Matter

Sampel dimasukkan ke dalam krusibel tertutup, lalu sambil diupayakan agar tidak terjadi kontak dengan udara, sampel dipanaskan dalam waktu yang cukup singkat. Setelah itu, kehilangan massa akibat pemanasan terhadap sampel dihitung berdasarkan persen (%) massa, kemudian nilai tersebut dikurangi nilai kandungan air dari analisis kuantitatif yang dilakukan bersamaan. Hasilnya inilah yang berupa kandungan zat terbang, yang terdiri dari unsur-unsur yang mudah menguap (*volatile*) di dalam batu bara itu sendiri, atau zat-zat yang terlepas ke udara akibat proses pemanasan.

Pertama-tama, sampel 1 gram dipanaskan selama 7 menit pada temperatur $900 \pm 20^\circ\text{C}$, kemudian ditimbang penurunan berat/massanya. Setelah itu, dikurangi dengan nilai kandungan air untuk mendapatkan kandungan zat terbang. Nilai kandungannya dinyatakan dengan perhitungan persen (%) berat.

Kandungan zat terbang memiliki hubungan yang erat dengan tingkat pembatubaraan, sehingga kadang dipakai pula sebagai acuan (*index*) dalam klasifikasi batu bara. Untuk batu bara bituminus, pengelompokan berdasarkan kandungan zat terbang dapat dilakukan sebagai berikut.

Tabel 3. Pengelompokan batu bara bituminus berdasarkan kandungan zat terbang (%)

Klasifikasi menurut ASTM	Klasifikasi menurut Asosiasi Kokas
<i>low volatile coal</i> 14-22	LV coal < 20
<i>medium volatile coal</i> 22-31	MV coal 20-25
<i>high volatile coal</i> 31 lebih	MV coal 25-30 HV coal > 30

1

Bila batu bara memiliki kandungan zat terbang yang tinggi, maka sifat penyalan (*ignition*) dan pembakaran (*combustion*)-nya pun baik. Akan tetapi, hal ini juga mengandung risiko swabakar (*spontaneous combustion*) yang tinggi.

Hubungan antara zat terbang dan penggunaan batu bara secara umum dapat diterangkan sebagai berikut.

Bila kandungan zat terbang semakin tinggi, maka selain penyalan dan pembakaran batu bara menjadi mudah, nyala api yang dihasilkan juga bagus (panjang), dan pembakaran rendah NOx mudah dilakukan. Karena sifat mampu terbakar habis yang dimiliki cukup tinggi, maka cocok untuk boiler.

Bila kandungan zat terbangnya sedikit, maka batu bara menjadi susah untuk dinyalakan. Selain itu, sifat pembakarannya pun jelek, dan nyala api yang dihasilkan juga kurang bagus (pendek). Karena sifat mampu terbakar habis yang dimiliki cukup rendah, maka kandungan zat tak terbakar dalam abu menjadi semakin banyak, sehingga tidak cocok untuk boiler. Dalam hal ini, diperlukan desain tungku pembakaran yang tepat, yang dapat menutupi kekurangan pada kondisi di atas.

Untuk pembakaran batu bara sangat halus, idealnya berupa batu bara yang memiliki kandungan zat terbang di atas 30% pada kondisi kering dan tanpa abu (*dry, ash free basis*), karena mudah dinyalakan dan mampu terbakar habis.

2.3.4 Fixed Carbon (Karbon Tetap)

Kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) didapatkan dari analisis tak langsung, dan dihitung dari persamaan berikut. Dari sisa pembakaran, setelah hasilnya dikurangi dengan kandungan abu, maka hasilnya inilah yang berupa nilai karbon tetap.

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100 - \{\text{Water (\%)} + \text{Ash (\%)} + \text{V.M. (\%)}\}$$

Antara kandungan zat terbang dan karbon tetap terdapat korelasi yang saling berlawanan, dalam arti bila kandungan zat terbang naik, maka nilai karbon tetap akan turun, dan demikian sebaliknya. Secara umum, bila tingkat pembatubaraan semakin tinggi, maka kandungan zat terbang akan semakin turun; sebaliknya, nilai karbon tetap akan bertambah.

4 ANALISIS ULTIMAT

Analisis ultimat yang bertujuan untuk mendapatkan nilai "mutlak" dari unsur-unsur yang terkandung dalam batu bara.

Analisis ultimat terhadap batu bara, terbagi atas 5 buah kandungan unsur, yaitu karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan belerang. Bila dibandingkan dengan *heavy oil*, persentase kandungan karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen dalam batu bara sangat berbeda. Untuk *heavy oil*, kandungan hidrogen meliputi kira-kira separuhnya, sedangkan oksigen dan nitrogen hampir tak ada sama sekali. Berlawanan dengan itu, di dalam batu bara terkandung oksigen sekitar 10% dan nitrogen 1-3%. Untuk mengetahui struktur kimia ataupun karakteristik batu bara, analisis ultimat memiliki peranan yang sangat penting.

2.4.1 Karbon dan Hidrogen

Karbon merupakan parameter yang penting untuk menunjukkan tingkat pembatubaraan, dan persentase kandungan karbon (C %) dihitung dalam kondisi kering dan bebas abu (*dry ash free basis*).

Pada saat terjadi pembakaran, semua oksigen di dalam batu bara dianggap bereaksi dengan hidrogen membentuk air. Hidrogen

yang tersisa, yang merupakan hidrogen di dalam batu bara yang siap dimanfaatkan secara efektif, disebut dengan ketersediaan hidrogen, dan dicari dari persamaan berikut ini.

$$\text{Ketersediaan Hidrogen (\%)} = \text{Hidrogen (\%)} - \text{Oksigen (\%)} / 8$$

Ketersediaan hidrogen memiliki hubungan dengan tingkat pembatubaraan. Bila tingkat pembatubaraan semakin tinggi, oksigen akan semakin berkurang, dan akibatnya ketersediaan hidrogen juga akan berkurang. Nilai ini menjadi maksimum pada kandungan karbon sekitar 85%. Setelah itu, pada zona antrasit, kandungan oksigen maupun hidrogen akan turun, sehingga ketersediaan hidrogen juga turun. Ketersediaan hidrogen digunakan dalam perhitungan teoritis mengenai jumlah udara dan nilai kalori pada pembakaran.

2.4.2 Oksigen

Penentuan kandungan oksigen tidak dilakukan secara langsung, akan tetapi dihitung dari persamaan berikut ini.

$$O (\%) = 100 - \{C (\%) + H (\%) + S (\%) + N (\%) + Ash (\%) \%100 / (100-water)\}$$

Dengan memperhatikan persamaan di atas, kita bisa mengetahui bahwa kesalahan pengukuran terhadap kandungan berbagai unsur dan abu akan sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan kandungan oksigen. Karena itu, boleh dikatakan bahwa tingkat reliabilitasnya sebagai hasil analisis adalah rendah.

Di dalam batu bara, oksigen terdapat dalam bentuk gugus hidroksil, karboksil, karbonil, eter, dan sebagainya. Karena gugus karbonil dan eter memiliki temperatur penguraian antara 350-500°C, maka batu bara yang memiliki kandungan oksigen cukup banyak biasanya memiliki kecenderungan untuk mempunyai kandungan zat terbang yang banyak pula.

2.4.3 Nitrogen ¹

Di dalam batu bara, terdapat kandungan nitrogen sekitar 0,5-2,0%. Pada saat terjadi pembakaran, sebagian nitrogen dalam batu bara akan berubah menjadi NO_x dan dilepas ke udara, sehingga berpengaruh terhadap lingkungan. Rasio/persentase perubahan ini sangat tergantung kepada kondisi persenyawaan dalam batu bara dan kondisi pembakarannya itu sendiri. Sebenarnya tidak terdapat hubungan yang khusus antara kandungan nitrogen di dalam batu bara dengan tingkat pematubaraan, namun terdapat kecenderungan bahwa kandungan nitrogen cukup tinggi untuk batu bara berasap, dan sedikit untuk batu bara antrasit.

2.4.4 Sulfur ¹

Sulfur total, merupakan nilai penjumlahan dari sulfur dalam abu (*sulfur in ash*) [dahulu disebut *non-combustible sulfur*] dan belerang terbakar (*combustible sulfur*). Atau dapat pula dikatakan sebagai penjumlahan antara nilai belerang inorganik dan belerang organik.

$$S (\%) = S_{\text{total}} (\%) \% 100 / [100 - \text{water} (\%)] - S_{\text{in ash}} (\%) \text{ (dry basis)}$$

Sedangkan yang dimaksud dengan *sulfur in ash* adalah persentase kandungan sulfur di dalam abu hasil analisis abu, di mana sampel dibakar menjadi abu dengan kondisi pengujian tertentu. *Combustible sulfur* adalah nilai yang didapat sebagai hasil pengurangan *total sulfur* dengan *sulfur in ash*.

Di dalam batu bara, kandungan sulfur total biasanya antara 0.1-2%, namun untuk *brand* produk tertentu, kadang dijumpai pula kandungan sulfur lebih dari 3%.

Bentuk ikatan sulfur yang terdapat di dalam batu bara, menurut standard ISO, diukur dalam bentuk sulfur anorganik berupa sulfur sulfat (*sulfate sulfur*) dan sulfur pirit (*pyritic sulfur*), serta sulfur organik (*organic sulfur*). ¹

Sulfur sulfat adalah sulfur dalam batu bara yang membentuk senyawa sulfat. Sampel diekstraksi dengan menggunakan asam

klorida (*hydrochloric acid*) encer, lalu gugus sulfat dalam larutan diukur.

Sulfur pirit adalah sulfur dalam batu bara yang terdapat dalam bentuk pirit atau markasit. Pertama-tama, sampel diekstraksi dengan menggunakan asam klorida encer. Setelah itu, diekstraksi lagi dengan menggunakan asam nitrat encer, dan kemudian diukur kandungan besi di dalam larutannya. Dari situ, baru dihitung kandungan sulfurnya.

Sulfur organik adalah sulfur yang berikatan dengan zat batu bara, dan nilainya dihitung sebagai hasil pengurangan kandungan sulfur sulfat dan sulfur pirit terhadap kandungan sulfur total.

Pada proses pembakaran, kandungan sulfur dalam batu bara akan berubah menjadi gas SO_2 dan SO_3 . Selain menjadi penyebab terjadinya polusi udara, gas-gas ini juga menjadi penyebab terjadinya korosi terhadap permukaan penghantar panas pada boiler. Karena itu, kandungan sulfur total pada batu bara boiler sebaiknya kurang dari 1%.

Sekarang ini, hampir semua peralatan pembakaran berskala besar telah dilengkapi dengan fasilitas desulfurisasi.

Kandungan sulfur di dalam kokas, dapat menjadi penyebab berbagai masalah di dalam proses pembuatan besi (misalnya besi menjadi getas dan rapuh). Karena itu, batu bara yang digunakan dituntut untuk memiliki kandungan belerang tidak lebih dari 0,6%.

2.5 ANALISIS NILAI KALORI

Nilai kalori merupakan panas yang dilepaskan saat unit kuantitas batu bara terbakar sempurna. Nilai kalori ini dibagi menjadi 2, yaitu:

- *Gross Calorific Value*, H_g
- *Net Calorific Value*, H_n

Yang dimaksud dengan *gross calorific value* adalah nilai kalori total, dan nilai ini adalah nilai yang diperoleh dari hasil analisis. Di dalam nilai tersebut, terkandung pula nilai *kalor laten* (= panas

tersembunyi) dari uap air yang terbentuk akibat pembakaran kandungan air dan hidrogen dalam batu bara. Akan tetapi, pada pembakaran sebenarnya dengan menggunakan boiler dan sebagainya, uap air ini dilepaskan begitu saja lewat cerobong asap tanpa proses kondensasi, sehingga pada hakikatnya kalor laten tersebut tidak dapat dimanfaatkan.

Yang dimaksud dengan *net calorific value* adalah nilai kalori murni, yaitu setelah dikurangi dengan nilai kalor latennya. Nilai ini tidak tergantung kepada hasil pengukuran, dan hanya ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$H_n = H_g - 600 (9H + W) \text{ [kcal/kg]}$$

Di sini, H adalah kandungan hidrogen pada kondisi *equilibrium moisture* (kg), dan W adalah kandungan air (kg). Batu bara boiler yang biasa dipakai saat ini, banyak yang memiliki nilai H_g antara 6000-7000 kcal/kg.

2.6 SIFAT FISIKA BATU BARA

Sebagai tambahan selain sifat kimiawi batu bara, adalah evaluasi untuk penggunaan secara komersial menurut penentuan beberapa sifat fisika, meliputi: *density*, *grindability*, *abrasion index*, dan *particle size distribution*.

2.6.1 Density

Density batu bara tergantung pada rank dan kandungan *mineral matter*. Hal ini adalah faktor yang utama dalam mengubah unit batu bara dari volume menjadi unit masa perhitungan cadangan batu bara.

Density ditentukan oleh hilangnya berat yang terjadi ketika terbenam dalam air. Pengujian sampel lapangan dan sampel *core* dalam cara ini sebagai *apparent density*, karena sisa udara yang terperangkap di dalam batu bara. *True density* ditentukan oleh batu bara hancuran (*crushing*) serta menggunakan standar botol *density* atau *pycnometer*. Secara perlahan dengan *apparent density* dapat

ditentukan di lapangan, hal ini merupakan ketersediaan fasilitas yang penting bagi seorang geologis ketika menggambarkan tipe batu bara dengan kandungan *mineral matter* yang berubah-ubah tingkatannya di mana batu bara dapat menjadi tidak ekonomis secara kualitas.

Sebagai catatan bahwa *density* adalah tidak sama dengan *specific gravity* atau *relative density*, pembentukannya digambarkan sebagai berat per unit volume dengan sebagai gram per centimeter kubik, sedangkan *specific gravity* atau *relative density* adalah *density* dengan keterangan sebagai air pada 4°C.

2.6.2 ¹ Grindability

Ketergerusan merupakan sifat mudah-sulitnya batu bara untuk diremuk atau digerus. Besar kecilnya nilai ketergerusan ini, dinyatakan dengan suatu indeks yang disebut *Hardgrove Grindability Index* atau HGI. Semakin kecil nilai HGI, berarti semakin sulit penggerusannya; dan begitu pula sebaliknya.

Pertama-tama, sampel digerus dan diayak hingga ukuran tertentu, yaitu antara 1190- 590µm. Setelah itu, 50g sampel dimasukkan ke dalam alat uji ketergerusan Hardgrove bersama dengan 8 buah bola. Setelah diputar sebanyak 60 kali, lalu diayak dengan ayakan 75µm (200 mesh). *Undersize product* (hasil lolos ayakan) yang diperoleh lalu ditimbang, dan disubstitusikan ke persamaan berikut.

$$HGI = 13 + 6,93W$$

W adalah berat *undersize product* (dalam gram) pada ayakan 75µm.

Hubungan ¹ antara ketergerusan dengan tingkat pematubaraan: secara umum, diketahui bahwa *caking coal* merupakan batu bara yang paling mudah digerus, sedangkan *brown coal* atau *lignite* merupakan batu bara yang paling susah

digerus. Tentu saja hal ini tergantung pula kepada struktur batu bara maupun banyak-sedikit kandungan abunya.

HGI umumnya dinyatakan dalam rentang bilangan antara 30-120. Untuk batu bara yang dipakai pada pembangkit listrik (*steam coal*), batu bara digerus terlebih dahulu menjadi partikel halus sebelum dimasukkan ke dalam boiler. Bila batu bara terlalu keras, yang berarti nilai HGI kecil, maka akan menurunkan performa dari mesin penggerus (*mill*). Dengan kata lain, bila nilai HGI semakin rendah, maka diperlukan daya yang lebih besar bagi mesin penggerus. Karena itu, para pengguna (*user*) banyak yang menetapkan nilai HGI di atas 45 untuk batu bara yang mereka beli.

2.6.3 Abrasion Index

Mineral matter yang berukuran kasar dalam batu bara terutama mineral kuarsa dapat disebabkan abrasi yang kuat dari mekanisme penggunaan batu bara *pulverize*. Sampel-sampel batu bara diuji di dalam perlengkapan penggilingan dengan 4 (empat) mata pisau logam. Kehilangan massa dari mata pisau tersebut menentukan tingkat abrasi yang dinyatakan dalam miligram logam tiap kilogram batu bara yang digunakan.

2.6.4 Particle Size Distribution

Distribusi ukuran partikel batu bara tergantung pada penambangan serta penanganan yang dialaminya, bersamaan dengan kekerasan, kekuatan dan derajat rekahan.

Ukuran partikel batu bara mempengaruhi desain preparasi batu bara, terkait dengan ukuran batu bara yang akan dijual. Pengujiannya berdasarkan analisis ayakan sebagai material geologi yang lain dan hasilnya dinyatakan dalam variasi parameter distribusi ukuran butir, seperti ukuran partikel rata-rata serta persentase (%) ukuran kumulatif.

2.7 ANALISIS LAIN DALAM PEMANFAATAN BATU BARA

2.7.1 Chlorine

Kandungan *chlorine* dalam batu bara adalah rendah, biasanya terjadi sebagai garam anorganik dari sodium, potasium dan kalsium klorida. Kehadiran dari sejumlah *chlorine* yang tinggi pada batu bara akan mengganggu dalam pemanfaatannya. Di dalam boiler *chlorine* menyebabkan korosi dan pengotor, ketika mengalir dan sebagai kontributor dalam polusi udara. Kandungan *chlorine* pada *steam coal* maksimum adalah 0,2-0,3% (*air dried*) dan untuk batu bara digunakan dalam industri semen dengan maksimum kandungan *chlorine* 0,1% (*air dried*).

Kandungan klor di dalam batu bara, biasanya berkisar antara 0,01-0,02%, dan kebanyakan terdapat sebagai NaCl, KCl, dan sebagainya. Senyawa-senyawa ini, pada temperatur 1400-1500°C akan berbentuk uap. Akan tetapi, pada zona temperatur antara 900-1000°C, senyawa tersebut akan kembali ke bentuk cair dan dalam kondisi sebagai leburan/lelehan. Selain menjadi penyebab korosi temperatur tinggi dan temperatur rendah di dalam boiler, dan juga *fouling* (pengotor) oleh natrium dan kalium, klor juga berpengaruh atas terjadinya korosi pada peralatan desulfurisasi asap buangan.

2.7.2 Fosfor

Unsur fosfor merupakan bahan penting dalam kehidupan tanaman dan batu bara. Fosfor didapatkan dalam mineral fluorapatite ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$) dan umumnya lebih kecil dari 0,1%, meskipun dalam hal yang ekstrem pernah dilaporkan mencapai 1%-2% fosfor.

Pada pembakaran, fluorapatite terurai membentuk fosfat yang lebih stabil yang akan tertahan di dalam *ash*. Dengan demikian tidak akan mengganggu proses pembakaran.

Dalam pembuatan semen senyawa fosfor dalam klinker menyebabkan penguraian komponen 3CaOSiO_2 dan akan mengurangi sifat-sifat produk. Meskipun demikian hal itu akan

tergantung pada banyaknya fosfor yang memasuki sistem melalui *raw material* umpan, dan pada kandungan fosfor dalam batu bara jarang merupakan faktor krisis di pabrik semen.

Dalam baja karbon, fosfor mempunyai pengaruh yang jelas. Umumnya dalam kokas, kandungan fosfor ini dibatasi sampai 0,012% yang setara dengan 0,01% fosfor dalam batu bara kokas.

2.7.3 Analisis Abu (*Ash*)

Komposisi abu batu bara berbeda-beda tergantung kepada jenis batu baranya. Komposisinya tak jauh berbeda dengan mineral lempung (*clay minerals*), dengan kandungan utama berupa silika dan alumina. Umumnya, komposisi abu batu bara terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut.

- SiO_2 : 40-60%
- Al_2O_3 : 15-35%
- TiO_2 : 1-2%
- Fe_2O_3 : 5-25%
- CaO : 1-15%
- MgO : 0,01-0,1%

Analisis kimia terhadap Si, Fe, Al, Ca, Mg, dan S dilakukan dengan metode gravimetri dan volumetri, sedangkan untuk P dilakukan dengan metode absorpsiometri dan volumetri. Sebagai referensi, analisis terhadap Ni, Ti, dan V dilakukan dengan metode absorpsiometri, sedangkan Na dan K dilakukan dengan analisis nyala (*flame analysis*) dan metode absorpsiometri atom (*atomic absorptiometry*).

Namun sekarang ini, makin banyak yang menggunakan peralatan fluoresensi sinar X (*fluorescent X-ray device*) untuk melakukan analisis secara sekaligus.

Analisis komposisi abu seperti yang disebutkan di atas, merupakan faktor penting dalam memprediksi *slagging*, *fouling*, *electric dust collection*, *high-temperature corrosion*, dan *denitrification catalyst degradation*.

2.7.4 Ash Fusion Temperature (Temperatur Leleh Abu)

Saat batu bara dibakar, maka abu dan kandungan anorganik lain akan meleleh. Lelehan ini lalu akan menempel dan mengeras di permukaan penghantar panas pada tungku membentuk klinker. Adanya klinker ini akan menyebabkan berbagai masalah, seperti penurunan daya hantar panas maupun daya ventilasi. Titik leleh abu mempunyai hubungan yang erat dengan pembentukan klinker. Bila titik lelehnya rendah, maka klinker akan mudah terbentuk. Titik leleh abu, umumnya berada pada kisaran 1000-1500°C, dan idealnya bernilai 1300°C ke atas.

Pengukuran titik leleh abu, dilakukan sebagai berikut. Batu bara yang telah terbakar habis menjadi abu, lalu digerus hingga berukuran lebih kecil dari 200 mesh, lalu dibentuk menjadi piramida segitiga (limas segitiga). Bentuk piramida segitiga ini lalu dimasukkan ke dalam tungku listrik (*electric furnace*), lalu temperatur tungku dinaikkan. Perubahan terhadap bentuk piramida segitiga akibat kenaikan temperatur lalu diamati dan dicatat.

Temperatur di mana piramida segitiga mulai mengalami perubahan bentuk dinamakan titik pelunakan (*softening point*). Temperatur saat menjadi bentuk setengah bola, dinamakan titik leleh (*melting point*). Ketika temperatur terus dinaikkan sehingga akhirnya abu meleleh mengalir, dinamakan titik alir.

Titik leleh abu batu bara, selain dipengaruhi oleh komposisi abu, juga ditentukan oleh suasana gas (sifat oksidasi atau reduksi). Biasanya, nilainya berkisar antara 1000-1500°C. Bila di dalam kandungan abu terdapat unsur-unsur bersifat asam seperti asam silikat (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), maka titik lelehnya akan tinggi. Namun bila banyak mengandung unsur-unsur basa seperti oksida besi (Fe_2O_3), kapur (CaO), magnesia (MgO), oksida basa (Na_2O , K_2O) dan sebagainya, maka titik lelehnya rendah. Secara umum, bila nilai perbandingan antara keduanya, yang dinyatakan dengan B/A, memiliki nilai mendekati 1, maka terdapat kecenderungan bahwa titik lelehnya akan rendah.

$$\text{Rasio B/A} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

Selain itu, titik leleh dalam suasana gas reduksi seperti CO, H₂, dan sebagainya, akan menjadi lebih rendah bila dibandingkan dengan suasana asam. Umumnya, perbedaan titik leleh ini dapat mencapai 50-100°C.

2.7.5 Trace Elements (Unsur-Unsur Jejak)

Batu bara mengandung sejumlah unsur jejak yang berbeda-beda dalam keseluruhan komposisinya. Sebagian besar berasosiasi dengan fraksi organik adalah *boron*, *beryllium*, dan *germanium*; sebagian besar lagi berasosiasi dengan fraksi anorganik termasuk *arsenic*, *cadmium*, *mercury*, *manganese*, *molybdenum*, *lead*, *zinc* dan *zirconium*. Unsur jejak lainnya mempunyai asosiasi yang bervariasi dengan fraksi organik dan anorganik; yang berasosiasi dengan fraksi organik seperti *gallium*, *fosfor*, *antimony*, *titanium* dan *vanadium*, sedangkan yang berasosiasi dengan fraksi anorganik adalah *cobalt*, *chromium*, nikel, dan *selenium*.

Boron dapat dijadikan indeks penggunaan dalam indikasi paleosalinitas kondisi pengendapan batu bara.

Khusus unsur jejak seperti *lead*, *arsenic*, *cadmium*, *chromium* dan *mercury*, jika hadir dalam jumlah banyak, dapat menghindarkan batu bara dari penggunaannya dalam situasi yang sensitif terhadap lingkungan. Akibat kerusakan lain adalah dalam industri metalurgi, seperti *boron*, *titanium*, *vanadium* dan *zinc*.

Akibat penggunaan batu bara dalam jumlah yang banyak dalam industri berarti jumlah unsur jejak kemungkinan terkonsentrasi dalam bentuk residu setelah pembakaran. Untuk itu unsur jejak harus ditentukan jumlah ambang batasnya sebelum batu bara tersebut digunakan dalam industri.

Trace element dapat dikaitkan dengan unsur batu bara atau dengan *mineral matter* yang ada. Dengan meningkatkan penekanan terhadap dampak lingkungan dari perkembangan industri

penetapan nilai-nilai konsentrasi *trace element* saat ini rutin dikerjakan.

Jenis elemen yang ditetapkan adalah:

- *Beryllium, cadmium, cobalt, silver, lithium*: ditetapkan pada abu dengan menggunakan AAS.
- *Barium, vanadium, strontium, zirconium, zinc, nickel, rubidium, copper, chromium*: ditetapkan pada abu dengan menggunakan XRF.
- *Arsenic, selenium*: ditetapkan pada batu bara dengan menggunakan *hydride generation* dan AAS.
- *Mercury*, ditetapkan pada batu bara dengan menggunakan *vapour generation* dan AAS.

3

Pustaka

- Allen, G.P., & Chamber, J.L.C., 1998. Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia. Indonesian Petroleum Association 231p.
- Bustin, R.M., Cameron, A.R., Grieve, D.A., Kalkreuth, W., 1983. Coal Petrology Its Principles, Methods, and Applications, Geological Association of Canada. Short Course Notes, Vol. 3. 248p.
- Evans, Anthony, M., 1995, Introduction of Mineral Exploration, Blackwell Science Ltd. p. 44-62.
- Fadilah, F., 2005, Geologi dan Kontrol Struktur Geologi Terhadap Geometri Lapisan Batu Bara Kab. Kuantan Singingi, Propinsi Riau. Laporan skripsi mahasiswa S-1 Prodi Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- Hutton, A., Jones, B., 1995. Short Course on Coal Exploration, Manpower Development Centre for Mines, Bandung, Indonesia.
- Koesoemadinata, Geologi Eksplorasi, Departemen Teknik Geologi, ITB.
- Koesoemadinata, R.P., 2002. Outline of Tertiary Coal Basins of Indonesia. Sedimentology Newsletter. Number 17/I/2002. Published by The Indonesian Sedimentologist Forum, the sedimentology commission of the Indonesian Association of Geologist. p. 2-13.

- Notosiswoyo, S., Syafrizal, Heriawan, M.N., 2000. Teknik Eksplorasi, Jurusan Teknik Pertambangan, ITB.
- Peters, C.W., 1978. Exploration, Mining and Geology, Department of Mining and Geological Engineering, The University of Arizona, John Wiley & Sons, p. 509-549.
- Ragan, D.M., 1968. Structural Geology An Introduction to Geometrical Techniques, second edition, John Wiley & Sons Ltd.
- Rahmad, B., 2001. Sedimentologi dan Petrologi Batu Bara, Sangatta Seam dan Middle Seam, Daerah Hatari, Kec. Sangatta, Kab. Kutai Timur, Kalimantan Timur. (Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung). Tidak dipublikasikan.
- Sudradjat, A., 1999. Teknologi & Manajemen Sumber Daya Mineral, Penerbit ITB, Bandung.
- Thomas, L., 2005. Coal Geology: John Wiley & Sons Ltd. The Atrium. Southern Gate. Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, p. 27-45; p. 101-120.
- Tilton, J.E., Eggert, R.G., Landsberg, H.H., 1988. World Mineral Exploration, Trends and Economic Issues, Resources For The Future, Washington, D.C. 1988. p. 261-282.
- United Nation, 1987. Coal Exploration, Evaluation and Exploitation, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, ESCAP Series on Coal, Volume 5, Bangkok, Thailand, p. 3-36.
- Ward, C.R. (1984). Coal Geology and Coal Technology, Blackwell Scientific Publications, Singapore, p. 177-219.
- , 1998. Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Batu Bara, Badan Standarisasi Nasional.
- , 2006. Materi Training Kualitas Batu bara dan Stockpile Management, PT. Geoservices (Ltd).
- , 2004. The JORC Code 2004 Edition.
- , 2004. Coal Mining Technology (2004) NEDO Japan.

Tentang Penulis



Penulis dilahirkan di Padang, 7 Mei 1966

Riwayat pendidikan : Sarjana S-1 (Insinyur) Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, melanjutkan sarjana S-2 (Magister Teknik) di Institut Teknologi Bandung, dan melanjutkan sarjana S-3 (Doktor) di Institut Teknologi Bandung.

Riwayat pekerjaan penulis :

- Tahun 1988 s.d. 1991, Asisten Dosen Kristalografi-Mineralogi
- Tahun 1993 s.d. 1994, Geologis PT. Marunda Graha Mineral, Bidang Eksplorasi Batu Bara di Kecamatan Laung Tuhup, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah
- Tahun 1994 s.d. sekarang, dosen tetap di Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, pengajar mata kuliah: Geologi Batu Bara, Eksplorasi Batu Bara, Gas Metana Batu Bara (*Coalbed Methane*), Pemboran Batu Bara dan Kualitas Batu Bara
- Tahun 2004, penulis mengikuti Pendidikan dan Pelatihan Eksplorasi dan Survei Tambang Batu Bara Bawah Tanah, di

Nagasaki Coal Mining Technology, Mitsui Matsushima Resources (MMR), NEDO-Jepang selama 6 (enam) bulan

- Sejak tahun 1999 s.d. sekarang, penulis melakukan penelitian geologi batu bara, eksplorasi batu bara serta penelitian *coalbed methane* (CBM) di Kalimantan dan Sumatra

Anggota Persatuan Insinyur Indonesia (PII) nomor anggota:
1205.05.028603

Anggota Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI), nomor anggota:
5689

EKSPLORASI GEOLOGI BATUBARA

Buku ini memberikan gambaran tentang pentingnya memahami konsep eksplorasi geologi batubara sebagai bahan pertimbangan dalam persiapan sebelum dan selama kegiatan eksplorasi batubara dilaksanakan. Buku ini juga disusun dari beberapa pustaka dan pengalaman pribadi penulis selama melakukan penelitian geologi batubara baik melalui kursus, penelitian maupun kegiatan eksplorasi batubara yang salah satunya di daerah Sangatta, Kalimantan Timur.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📍 Penerbit Deepublish

📱 [@penerbitbuku_deepublish](https://www.instagram.com/penerbitbuku_deepublish)

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Material Karbon

ISBN 978-623-02-5433-8



9 786230 254338

Eksplorasi Geologi Batubara

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

fr.scribd.com

Internet Source

19%

Exclude quotes On

Exclude matches < 10%

Exclude bibliography On