

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BATUBARA MENGGUNAKAN
METODE POLIGON PADA PIT X PT BUKIT RAYA COAL
MINING, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA,
PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh:

**REZA ARISANDI
D111171513**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BATUBARA MENGGUNAKAN
METODE POLIGON PADA PIT X PT BUKIT RAYA COAL
MINING, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA,
PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

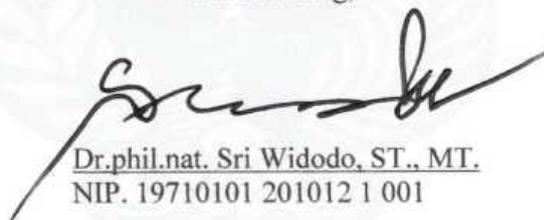
Disusun dan diajukan oleh

REZA ARISANDI
D111171513

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 4 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

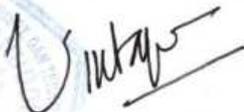
Menyetujui,

Pembimbing,

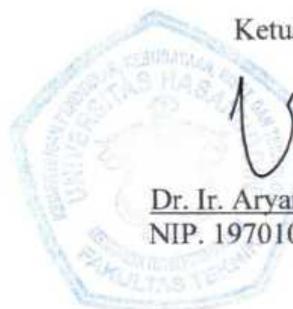


Dr.phil.nat. Sri Widodo, ST., MT.
NIP. 19710101 201012 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.
NIP. 19701005 200801 2 026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;
Nama : Reza Arisandi
NIM : D111171513
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BATUBARA MENGGUNAKAN METODE
POLIGON PADA PIT X PT BUKIT RAYA COAL MINING, KABUPATEN
KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2024

Yang Menyatakan

 Reza Arisandi



ABSTRAK

REZA ARISANDI. *Estimasi Sumberdaya Terukur Batubara Menggunakan Metode Poligon Pada Pit X Pt Bukit Raya Coal Mining, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur (dibimbing oleh Sri Widodo)*

Batubara adalah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna coklat sampai hitam, yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang memperkaya kandungan karbonnya. Perhitungan Sumberdaya yang akurat membantu para perancang tambang dapat membuat rencana penambangan yang optimal, baik dari segi produksi, segi waktu dan segi efisiensi biaya, bermuara pada pengambilan keputusan dalam teknis eksploitasi Sumberdaya yang bernilai ekonomis. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui stratigrafi, arah penyebaran dan ketebalan batubara serta mengetahui berapa jumlah Sumberdaya terukur pada daerah penelitian Pit X PT Bukit Raya Coal Mining. Metode poligon merupakan metode dengan menggunakan prinsip daerah pengaruh dengan membagi dua antara jarak satu titik dengan titik lainnya dan menarik garis sehingga membentuk suatu batas-batas area pengaruh untuk setiap titik. Tonase batubara dapat diketahui dengan menghitung Luasan area pengaruh dan dikalikan dengan ketebalan batubara didapatkan volume dari setiap area pengaruh untuk mendapatkan jumlah tonase dari batubara volume batubara dikalikan dengan nilai densitas batubara yang diasumsikan $1,3 \text{ ton/m}^3$. Perhitungan Sumberdaya batubara ini menggunakan *software* Minescape 5.7. Daerah penelitian termasuk kedalam Cekungan Kutai Formasi Balikpapan dan tersusun oleh litologi batupasir, batulempung, dan batubara batulempung kemudian batubara, batu lempung, dan batupasir. Hasil dari pemodelan batubara diketahui terdapat 4 lapisan batubara potensial dengan arah kemenerusan $N 52^\circ E - N 58^\circ E$. Batubara memiliki ketebalan berkisar antara 0,2 m – 4,4 m dengan kemiringan lapisan batubara $24^\circ - 28^\circ$. Perhitungan Sumberdaya batubara menggunakan metode poligon yang telah dilakukan diketahui total tonase overburden 3.017.222,04 ton dan Sumberdaya batubara 216.735,81 ton, maka diketahui nilai *Stripping ratio* 1:14.

Kata Kunci: Batubara, Estimasi Sumberdaya, Metode Polygon, Minescape 5.7



ABSTRACT

REZA ARISANDI. *Estimation of Measured Coal Resources Using the Polygon Method at Pit X of Pt Bukit Raya Coal Mining, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province (supervised by Sri Widodo)*

Coal is a combustible sedimentary rock derived from plants, ranging in color from brown to black, which, since its deposition, has undergone physical and chemical processes enriching its carbon content. Accurate Resource Estimation assists mining designers in developing optimal mining plans in terms of production, timing, and cost efficiency, facilitating decisions in the technical exploitation of economically valuable resources. The objective of this study is to determine the coal stratigraphy, distribution direction, thickness, and ascertain the measured resources in the research area of Pit X at PT Bukit Raya Coal Mining. The polygon method divides the distance between points and draws lines to delineate influence areas, crucial for estimating coal tonnage. Coal tonnage is calculated by multiplying the area of influence by coal thickness to derive volume, assuming a coal density of 1.3 tons/m³. Resource calculations utilize Minescape 5.7 software. The study area lies within the Kutai Basin, Balikpapan Formation, comprising lithologies such as sandstone, claystone, and claystone coal, and coal, claystone, and sandstone. Coal modeling reveals four potential coal layers oriented N 52°E - N 58°E, with thicknesses ranging from 0.2 m to 4.4 m and layer dips of 24°-28°. Resource assessments using the polygon method yielded total overburden tonnage of 3,017,222.04 tons and coal resources of 216,735.81 tons, resulting in a stripping ratio of 1:14.

Keywords: Coal, Measured Coal Estimation, Polygon Method, Minescape 5.7



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas segala nikmat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “Estimasi Sumberdaya Terukur Batubara Menggunakan Metode Poligon Pada Pit X PT Bukit Raya Coal Mining, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur”. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabatnya. Karena beliau adalah pembawa risalah Islam, yang membawa petunjuk bagi umat manusia ke jalan yang benar. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak yang dengan ikhlas memberikan arahan, saran, serta motivasi selama proses penyusunan. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Ferdynandus Sumalu S.T, Selaku Kepala Teknik Tambang PT Bukit Raya Coal Mining yang telah banyak membantu selama kegiatan Penelitian. Penulis juga berterimakasih kepada bapak Yakobus Limin S.T. selaku Penanggung Jawab Operasional PT BRCM sekaligus pembimbing di lokasi penelitian yang telah meluangkan waktunya dalam membantu selama kegiatan Penelitian sampai penyusunan laporan Penelitian.

Penulis berterimakasih juga kepada Bapak Dr. Phil. nat. Sri Widodo, ST., MT selaku dosen LBE Eksplorasi Mineral sekaligus sebagai dosen pembimbing Penelitian yang telah banyak meluangkan waktu, memberian masukan dan arahan dalam penyusunan Skripsi. Penulis juga berterimakasih kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., selaku Kepala LBE Eksplorasi Mineral sekaligus menjadi dosen penanggungjawab akademik yang telah banyak meluangkan waktu penulis dalam pembuatan proposal penelitian sampai penyusunan laporan . Penulis berterimakasih juga kepada Almarhum Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen LBE Eksplorasi Mineral yang telah menyalurkan ilmu dan pengetahuannya,



ide-ide kreatif yang banyak membantu penulis dalam pembuatan proposal penelitian sampai penyusunan skripsi.

Penulis berterimakasih kepada Anggota LBE Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk penulis selama penelitian dan pembuatan Skripsi. Penulis juga berterimakasih kepada saudara dan saudari seperjuangan Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2017 CONTINUITY yang telah memberikan bantuan, semangat, motivasi dan menjadi keluarga baru dalam kehidupan sehari-hari penulis serta menjadi kerabat baik susah maupun duka dalam menghadapi dinamika perkuliahan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua penulis, Ibu Hj. Agustini Adri, SE. dan Bapak H. Husain Lamang, SE. yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Penelitian ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai bekal ilmu pengetahuan bagi penulis dan pembaca.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Mei 2024

Reza Arisandi



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Rumusan Masalah.....	2
1. 3 Tujuan Penelitian	2
1. 4 Kegunaan Penelitian	2
1. 5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2. 1 Batubara.....	3
2. 2 Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara.....	13
2. 3 Geologi Regional	16
2. 4 Metode Poligon.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	25
3. 1 Waktu dan Lokasi Penelitian	25
3. 2 Variabel Penelitian.....	26
3. 3 Alat Penelitian	26
3. 4 Teknik Pengumpulan Data.....	26
3. 5 Sumber Data	27
3. 6 Pengolahan Data	28
3. 7 Bagan Alir Penelitian.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
Peta Topografi	42
Analisis Data.....	42
Estimasi sumberdaya terukur Batubara.....	51
ESIMPULAN	54



5. 1	Kesimpulan.....	54
5. 2	Saran.....	54
	DAFTAR PUSTAKA	55
	LAMPIRAN.....	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses pembentukan batubara (Kentucky Geologicak survey, 2023)	4
Gambar 2. Peringkat Batubara (Kentucky Geologicak survey, 2023).	9
Gambar 3. Hubungan antara inventori, sumberdaya dan cadangan Batubara (BSN, 2019).....	15
Gambar 4 Peta struktur geologi regional Cekungan Kutai (Supriatna dkk., 1995).	21
Gambar 5. Peta tunjuk lokasi penelitian.	25
Gambar 6. Import Data Topografi.....	30
Gambar 7. Kontur Topografi.....	30
Gambar 8. Pembuatan <i>Schema</i> Format Model	31
Gambar 9. <i>Display Difinition Surface</i>	32
Gambar 10. Sebaran Titik Bor	32
Gambar 11. Geologi Model <i>Grid</i>	33
Gambar 12. Geologi Model.....	33
Gambar 13. Pembuatan Kontur Struktur	34
Gambar 14. Kontur Struktur <i>Roof</i> dan <i>Floor</i>	35
Gambar 15. Pembuatan <i>Croplines</i>	35
Gambar 16. <i>Croplines</i>	36
Gambar 17. Fitur buat <i>butter block</i>	36
Gambar 18. Hasil <i>butter block</i>	37
Gambar 19. Hasil <i>solid block</i>	37
Gambar 20. Hasil <i>pit limit</i>	38
Gambar 21. Hasil bidang <i>pit limit</i>	38
Gambar 22. Jendela Section	39
Gambar 23. Penampang Batubara	39
Gambar 24. Fitur perhitungan tonase terbukti	40
Gambar 25. <i>Flow chart</i>	41
Gambar 26. <i>Triangle file</i>	43
Gambar 27. Sebaran titik bor	43
Gambar 28. Penggambaran 3 dimensi lubang pengeboran.....	44
Gambar 29. Pemodelan Geologi	45
Gambar 30. Kontur struktur lapisan batubara.....	45
Gambar 31. Arah kemenerusan lapisan Batubara.....	46
Gambar 32. Cropline.....	47
Gambar 33. butter block.....	48
Gambar 34. Hasil <i>butter block</i> dan <i>solid block</i>	48
Gambar 35. Pit limit.....	49
Gambar 36. Section pit.....	50
Gambar 37. Penampang Sayatan.....	50
Gambar 38. Mengukur sudut batubara	51



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jarak titik pengamatan menurut kondisi geologi (BSN, 2019).	13
Tabel 2 Data Litologi	27
Tabel 3. Data Survei.....	28
Tabel 4 Ketebalan dan arah kemenerusan Batubara	46
Tabel 5. Dip Seam Batubara	51
Tabel 6. Volume Batubara	52
Tabel 7. Densitas Spesifik Batubara Padat (USGS, 1983).	52
Tabel 8. Perhitungan Sumberdaya Batubara	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data Litologi.....	54
Lampiran B. Data Suvey.....	82
Lampiran C. Kontur Struktur.....	92
Lampiran D. Penampang dan Sayatan.....	94



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara adalah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna coklat sampai hitam, yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang memperkaya kandung karbonnya (Sukandarrumidi, 1995). Batubara merupakan bahan galian yang strategis dan salah satu bahan baku energi nasional yang mempunyai peran yang besar dalam pembangunan nasional. Informasi mengenai sumber daya dan cadangan batubara menjadi hal yang mendasar dalam merencanakan strategi kebijakan energi nasional. Dewasa ini Pemerintah tengah meningkatkan pemanfaatan batubara sebagai energi baik untuk keperluan domestik seperti pada sektor industri dan pembangkit tenaga listrik, atau untuk ekspor. Sejalan dengan itu pemerintah telah melibatkan pihak swasta dalam pengusahaan pengembangan batubara (BSN, 2019).

PT Bukit Raya Coal Mining (PT. BRCM) merupakan perusahaan swasta yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang memiliki Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi (IUP-OP) seluas 418 Ha berlokasi di Kelurahan Sungai Merdeka Kecamatan Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kelurahan Mentawir dan Desa Wonosari Kecamatan Sepaku Kabupaten Penajam Paser Utara Provinsi Kalimantan Timur.

Perhitungan sumberdaya yang akurat membantu para perancang tambang dapat membuat rencana penambangan yang optimal, baik dari segi produksi, segi waktu dan segi efisiensi biaya, bermuara pada pengambilan keputusan dalam teknis eksploitasi Sumberdaya yang bernilai ekonomis (Jeremic, 1985). Prinsip perhitungan sumberdaya adalah berdasarkan pendekatan dari kondisi yang sebenarnya yang dihasilkan dari kegiatan eksplorasi (Horne et al., 1978). Oleh



, berdasarkan penjelasan di atas maka perlu dan penting estimasi sumberdaya batubara kukan agar setiap kegiatan eksplorasi mulai dari awal hingga ke tahapan selanjutnya

sesuai dengan standar yang ditetapkan pemerintah yang bersifat transparan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana stratigrafi, arah penyebaran dan ketebalan batubara di daerah penelitian Pit X PT Bukit Raya Coal Mining.
2. Berapa jumlah Sumberdaya terukur pada daerah penelitian Pit X PT Bukit Raya Coal Mining.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui stratigrafi, arah penyebaran dan ketebalan batubara di daerah penelitian Pit X PT Bukit Raya Coal Mining.
2. Mengestimasi Sumberdaya terukur pada pit daerah penelitian Pit X PT Bukit Raya Coal Mining.

1.4 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu mengetahui jumlah sumberdaya terukur daerah penelitian PT Bukit Raya Coal Mining sehingga menjadi acuan dalam menentukan metode penambangan dan pembuatan sequence penambangan.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan

Ruang lingkup dari penelitian ini terbatas pada salah satu Pit dari IUP PT Bukit Raya Coal Mining, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Data bor yang di dapatkan akan dilakukan analisis dan diestimasi menggunakan metode *polygon* dengan aplikasi *Minescape 5.7*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah bahan galian yang mudah terbakar yang mengandung lebih dari 50 persen bahan organik (karbon) menurut beratnya, dan 70 persen bahan karbon menurut volumenya termasuk *inherent moisture*, yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang telah dipadatkan, dikeraskan, diubah secara kimiawi, dan bermetamorfosis oleh panas dan tekanan selama masa geologi (Wood et al., 1983).

Indonesia merupakan salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Berdasarkan laporan BP Statistical Review of World Energy tahun 2020, Indonesia merupakan negara dengan cadangan batubara terbesar keenam di dunia (KESDM, 2021). Secara spesifik, data dari Badan Geologi Kementerian ESDM cadangan batubara Indonesia saat ini mencapai 38,84 miliar ton. Dengan rata-rata produksi batubara sebesar 600 juta ton per tahun, maka umur cadangan batubara masih 65 tahun apabila diasumsikan tidak ada temuan cadangan baru. Selain cadangan batubara, masih ada juga sumber daya batubara yang tercatat sebesar 143,7 miliar ton. Kalimantan menyimpan 62,1% dari total potensi cadangan dan sumber daya batubara terbesar di Indonesia, yaitu 88,31 miliar ton sumber daya dan cadangan 25,84 miliar ton. Selanjutnya, wilayah punya potensi tinggi adalah Sumatera dengan 55,08 miliar ton (sumber daya) dan 12,96 miliar ton (cadangan) (Pribadi, 2021).

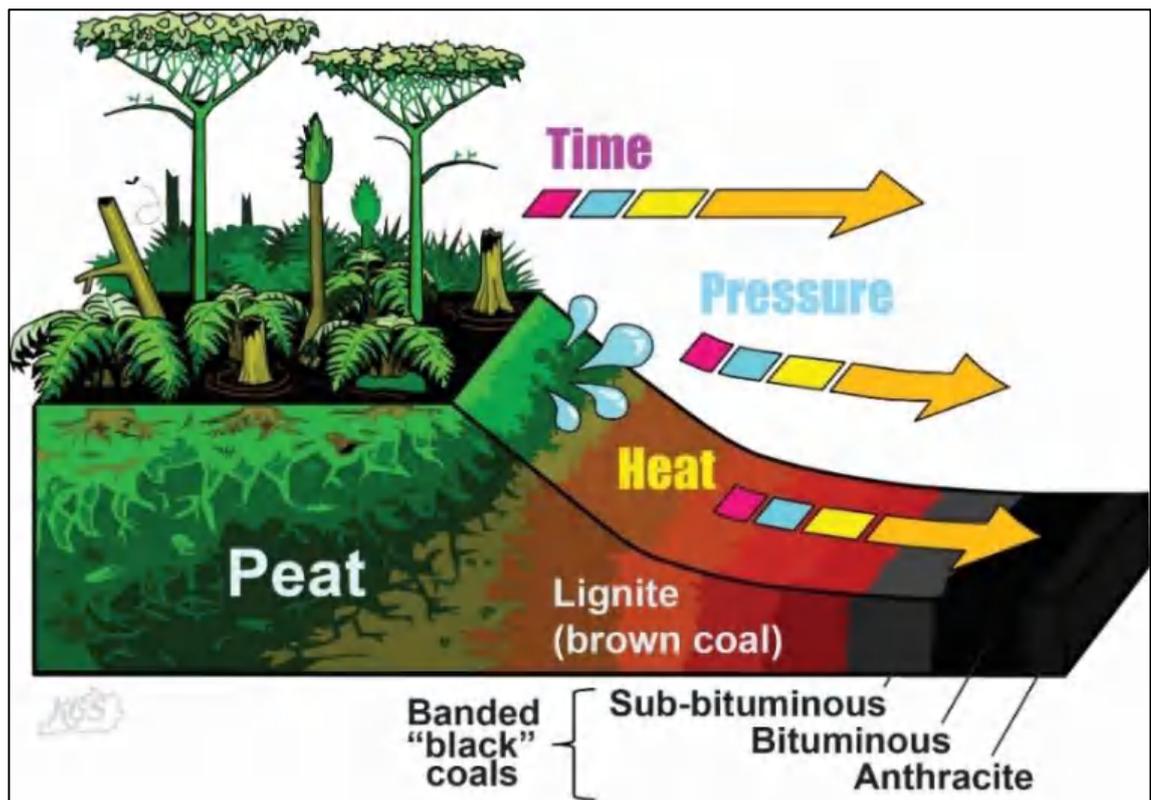
Pemanfaatan sumber energi batubara juga semakin meningkat seiring dengan menurunnya produksi minyak bumi. Maka, saat ini banyak Industri yang mulai mengalihkan fokus energinya ke Batubara. Dewasa ini pemakaian batubara yang terbanyak adalah pada sektor pembangkit listrik, pabrik semen dan industri lainnya dimana hampir separuh konsumsi batubara domestik digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pemanfaatan batubara juga akan semakin meningkat dengan adanya kebijakan energi nasional sementara itu produksi energi fosil yang lain seperti minyak bumi dan gas bumi mengalami penurunan akibat cadangan yang semakin



menipis ditambah pula dari data bauran energi nasional masih didominasi oleh bahan bakar minyak maka bukan tidak mungkin harganya akan terus semakin meningkat oleh karena itu dengan potensi batubara yang ada untuk mulai dilakukan substitusi dan diversifikasi terhadap bahan bakar minyak dan gas bumi menjadi menarik dikarenakan masih besarnya potensi batubara di Indonesia. (Afin dan Tamtomo, 2021).

2.1.1 Pembentukan Batubara

Batubara terbentuk dari perubahan fisik dan kimiawi gambut. Gambut terdiri dari bahan tanaman yang terakumulasi di lahan basah (rawa dan rawa), yang terurai melalui proses penggambutan. Jika gambut terkubur, maka gambut tersebut dapat diubah menjadi tingkatan batubara yang berbeda melalui proses pematubaraan. Proses ini dapat dilihat seperti pada gambar1 berikut (Kentucky Geologicak Survey, 2023):



Gambar 1. Proses pembentukan batubara (Kentucky Geologicak survey, 2023)



mbut adalah bahan tanaman yang membusuk sebagian seperti tanah yang terakumulasi asah. Kebanyakan orang mengetahui bahwa batubara terbentuk di rawa-rawa, tetapi sepenuhnya akurat. Istilah “rawa” dapat diterapkan pada berbagai jenis lahan basah,

tetapi batubara hanya terbentuk dari lahan basah yang mengakumulasi gambut. Oleh karena itu, endapan gambut terbentuk di lahan basah, tetapi tidak semua lahan basah membentuk gambut. Lahan basah penimbun gambut, juga disebut lahan gambut atau lumpur, termasuk rawa gambut, rawa gambut, dan hutan gambut. Agar gambut terakumulasi, akumulasi sisa-sisa tanaman dalam lumpur harus melebihi laju pembusukan bakteri dari sisa-sisa tanaman. Proses penguraian sebagian bahan tanaman di lingkungan berawa dan tergenang air disebut penggambutan atau peatifikasi.

Gambut akan terkubur, berat sedimen di atasnya memeras sebagian besar air dari gambut dan mengurangi volumenya (disebut pemadatan atau kompaksi). Gambut yang padat akan terus tertimbun lebih dalam ke bumi juga membuat material tersebut terkena suhu yang lebih tinggi. Pemanasan, dan pada tingkat yang lebih rendah, waktu dan tekanan bekerja pada gambut yang terkubur untuk mengubahnya menjadi batubara. Tahapan proses pembentukan batubara berlangsung melalui tingkatan yang berbeda dari batubara (batubara lignit, batubara sub-bituminous, batubara bituminous, batubara antrasit). Proses pembatubaraan atau coalifikasi melibatkan perubahan kimia dan fisika menjadi senyawa organik dan anorganik. Batubara berlanjut ke peringkat yang dicapai dengan pemanasan tertinggi (Kentucky Geological Survey, 2023).

Tempat terbentuknya batubara dikenal 2 macam teori (Sukamdarumidi, 1995):

1. Teori Insitu, teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuknya ditempat di mana tumbuh-tumbuhan asal itu berada. Dengan demikian maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses coalification. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil.



ri Drift, teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara adanya ditempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan cembang. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan

berakumulasi disuatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses coalification. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tetapi dijumpai di beberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang terangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi (Sukamdarumidi, 1995).

Proses terbentuknya batubara merupakan proses yang kompleks, dalam arti harus dipelajari dari berbagai sudut yang berbeda. Terdapat serangkaian faktor yang diperlukan dalam pembentukan batubara yaitu: posisi geotektonik, topografi (morfologi), iklim, penurunan, umur geologi, tumbuh-tumbuhan, dekomposisi, sejarah sesudah pengendapan, struktur cekungan batubara, dan metamorfosis organik (Sukamdarumidi, 1995).

1. Posisi Geotektonik, adalah suatu tempat yang keberadaannya dipengaruhi oleh gaya-gaya tektonik lempeng. Dalam pembentukan cekungan batubara, posisi geotektonik merupakan faktor yang dominan. Posisi ini akan mempengaruhi iklim lokal dan morfologi cekungan pengendapan batubara maupun kecepatan penurunannya. Pada fase terakhir, posisi geotektonik mempengaruhi proses metamorfosis organik dan struktur dari lapangan batubara melalui masa sejarah setelah pengendapan akhir.
2. Topografi (Morfologi), Morfologi dari cekungan pada saat pembentukan gambut sangat penting karena menentukan penyebaran rawa-rawa di mana batubara tersebut terbentuk. Topografi mungkin mempunyai efek yang terbatas terhadap iklim dan keadaannya bergantung pada posisi geotektonik.
3. Iklim, Kelembaban memegang peranan penting dalam pembentukan batubara dan merupakan faktor pengontrol pertumbuhan flora dan kondisi yang sesuai. Iklim tergantung pada posisi geografi dan lebih luas lagi dipengaruhi oleh posisi geotektonik.

Temperatur yang lembab pada iklim tropis dan sub tropis pada umumnya sesuai untuk

umbuhan flora dibandingkan wilayah yang lebih dingin. Hasil pengkajian menyatakan bahwa hutan rawa tropis mempunyai siklus pertumbuhan setiap 7-9 tahun



dengan ketinggian pohon sekitar 30 m. Sedangkan pada iklim yang lebih dingin ketinggian pohon hanya mencapai 5-6 m dalam selang waktu yang sama.

4. Penurunan cekungan batubara dipengaruhi oleh gaya-gaya tektonik. Jika penurunan dan pengendapan gambut seimbang akan dihasilkan endapan batubara tebal. Pergantian transgresi dan regresi mempengaruhi pertumbuhan flora dan pengendapannya. Hal tersebut menyebabkan adanya infiltrasi material dan mineral yang mempengaruhi mutu dari batubara yang terbentuk.
5. Umur Geologi, Proses geologi menentukan berkembangnya evolusi kehidupan berbagai macam tumbuhan. Dalam masa perkembangan geologi secara tidak langsung membahas sejarah pengendapan batubara dan metamorfosa organik. Makin tua umur batuan makin dalam penimbunan yang terjadi, sehingga terbentuk batubara yang bermutu tinggi. Tetapi pada batubara yang mempunyai umur geologi lebih tua selalu ada resiko mengalami deformasi tektonik yang membentuk struktur perlipatan atau patahan pada lapisan batubara. Di samping itu faktor erosi akan merusak semua bagian dari endapan batubara.
6. Tumbuhan Flora merupakan unsur utama pembentuk batubara. Pertumbuhan dari flora terakumulasi pada suatu lingkungan dan zona fisiografi dengan iklim dan topografi tertentu. Flora merupakan faktor penentu terbentuknya berbagai tipe batubara. Evolusi dari kehidupan mencip takan kondisi yang berbeda selama masa sejarah geologi. Mulai dari Paleozoic hingga Devon, flora belum tumbuh dengan baik. Setelah Devon pertamakali terbentuk lapisan batubara di daerah lagon yang dangkal. Periode ini merupakan titik awal dari pertumbuhan flora secara besar-besaran dalam waktu singkat pada setiap kontinen. Hutan tumbuh dengan subur selama masa Karbon. Pada masa Tersier merupakan perkembangan yang sangat luas dari berbagai jenis tanaman.
7. Dekomposisi, Dekomposisi flora yang merupakan bagian dari transformasi biokimia dari anik merupakan titik awal untuk seluruh alterasi. Dalam pertumbuhan gambut, sisa buhan akan mengalami perubahan, baik secara fisik maupun kimiawi. Setelah buhan mati proses degradasi biokimia lebih berperan. Proses pembusukan (*decay*)



akan terjadi oleh kerja mikrobiologi (bakteri anaerob). Bakteri ini bekerja dalam suasana tanpa oksigen menghancurkan bagian yang lunak dari tumbuhan seperti selulosa, protoplasma dan pati. Dari proses di atas terjadi perubahan dari kayu menjadi lignit dan batubara berbitumen. Dalam suasana kekurangan oksigen terjadi proses biokimia yang berakibat keluarnya air (H_2O) dan sebagian unsur karbon akan hilang dalam bentuk karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO) dan metan (CH_4). Akibat pelepasan unsur atau senyawa tersebut jumlah relatif unsur karbon akan bertambah. Kecepatan pembentukan gambut bergantung pada kecepatan perkembangan tumbuhan dan proses pembusukan. Bila tumbuhan tertutup oleh air dengan cepat, maka akan terhindar oleh proses pembusukan, tetapi terjadi proses desintegrasi atau penguraian oleh mikrobiologi. Bila tumbuhan yang telah mati terlalu lama berada di udara terbuka, maka kecepatan pembentukan gambut akan berkurang, sehingga hanya bagian keras saja tertinggal yang menyulitkan penguraian oleh mikrobiologi.

8. Sejarah Sesudah Pengendapan, secara luas bergantung pada posisi geotektonik yang mempengaruhi perkembangan batubara dan cekungan batubara. Secara singkat terjadi proses geokimia dan metamorfosa organik setelah pengendapan gambut. Di samping itu sejarah geologi endapan batubara bertanggung jawab terhadap terbentuknya struktur cekungan batubara, berupa perlipatan, persesaran, intrusi magmatik dan sebagainya.
9. Struktur Cekungan Batubara Terbentuknya batubara pada cekungan batubara pada umumnya mengalami deformasi oleh gaya tektonik, yang akan menghasilkan lapisan batubara dengan bentuk-bentuk tertentu. Di samping itu adanya erosi yang intensif menyebabkan bentuk lapisan batubara tidak
10. Metamorfosa Organik Tingkat kedua dalam pembentukan batubara adalah penimbunan atau penguburan oleh sedimen baru. Pada tingkat ini proses degradasi biokimia tidak



peran lagi tetapi lebih didominasi oleh proses dinamokimia. Proses ini menyebabkan adanya perubahan gambut menjadi batubara dalam berbagai mutu. Selama proses ini terjadi pengurangan air lembab, oksigen dan zat terbang (seperti CO_2 , CO , CH_4 dan gas

lainnya) serta bertambahnya prosentase karbon padat, belerang dan kandungan abu. Perubahan mutu batubara diakibatkan oleh faktor tekanan dan waktu. Tekanan dapat disebabkan oleh lapisan sedimen penutup yang sangat tebal atau karena tektonik. Hal ini menyebabkan bertambahnya tekanan dan percepatan proses metamorfosa organik, Proses metamorfosa organik akan dapat mengubah gambut menjadi batubara sesuai dengan perubahan sifat kimia, fisik dan optiknya (Sukamdarumidi, 1995).

2.1.2 Peringkat Kualitas Batubara

Berdasarkan kebutuhan akan adanya suatu pengelompokan untuk keperluan transaksi perdagangan ekspor dan impor, serta dari sisi keperluan penggunaan batubara itu sendiri. Pemanfaatan batubara bisa amat berbeda antara satu negara dengan negara lain, sehingga klasifikasi dan metode penamaannya juga berbeda. Namun secara umum, kandungan zat terbang (*volatile matter*) diambil sebagai nilai acuan baku dan terdapat kecenderungan yang hampir sama untuk kandungan zat terbang hingga 32%. Lewat dari angka ini, terdapat perbedaan yang cukup besar antara satu dengan yang lainnya, sehingga umumnya diambil nilai acuan tambahan berupa kandungan air, nilai kalori dan sebagainya Putri dan Fadhillah (2020). Pengujian parameter yang berbeda seringkali diperlukan untuk membedakan peringkat batubara. Gambar 2 menunjukkan pembagian peringkat kualitas batubara (Kentucky Geologicak survey, 2023).

Peat	Low-rank coal					Medium-rank coal				High-rank coal			Method for determining rank (dmmf) (U.S. ASTM)		
	Lignite		Sub-bituminous			Bituminous				Anthracitic					
	B	A	C	B	A	high volatile C	high volatile B	high volatile A	medium volatile	low volatile	Semi-anthracite	Anthracite		Meta-anthracite	
	5,000	6,300	8,300	9,500	10,500	11,500	13,000	14,000	Less distinct for changing rank				Calorific value (Btu/lb.)		
	Less distinct for changing rank								31	22	14	8	2	0	Volatile matter (%)
	Less distinct for changing rank								69	78	86	92	98	100	Fixed Carbon (%)



Peringkat Batubara (Kentucky Geologicak survey, 2023).

1. Lignit adalah batubara peringkat terendah. Lignit berwarna coklat dan memiliki tekstur yang bersahaja dan rapuh. Mereka lebih terlihat seperti kotoran, daripada yang biasanya dipikirkan orang saat memikirkan batubara. Dalam klasifikasi peringkat AS, lignit didefinisikan berdasarkan nilai kalor. Lignit memiliki nilai kalor (pemanasan) kurang dari 8.300 Btu/lb (ASTM, 2015). Di beberapa negara lain, lignit didefinisikan berdasarkan kadar airnya. Dalam klasifikasi lain, pemantulan vitrinit (%Ro) dapat digunakan untuk mendefinisikan lignit. Reflektansi vitrinit dalam lignit umumnya %Ro kurang dari 0,4 (ISO, 2005).
2. Batubara sub-bituminous adalah divisi kedua dari batubara peringkat rendah. Mereka transisi antara lignit dan batubara bituminous. Dalam klasifikasi peringkat AS, batubara sub-bituminous dan subdivisinya (A, B, C) seharusnya didasarkan pada nilai kalor. Berdasarkan standar ASTM, batubara sub-bituminous memiliki nilai kalor (pemanasan) sebesar 8.300 hingga 11.500 Btu/lb (ASTM, 2015). Namun dalam praktiknya, ada banyak tumpang tindih antara apa yang disebut batubara sub-bituminous peringkat lebih tinggi (subbituminous A) dan batubara bituminous peringkat lebih rendah (C volatil tinggi). Refleksi vitrinit (%Ro) dalam batubara subbituminous umumnya Ro antara 0,4 sampai 0,5%Ro. Seperti halnya nilai kalor, nilai pantulan untuk apa yang dianggap batubara bituminous C dan subbituminous A di Amerika Serikat tumpang tindih. Batubara sub-bituminous C (sub-bituminous peringkat lebih rendah) dalam sistem peringkat AS berwarna coklat dan bersahaja seperti lignit, sedangkan, batubara sub-bituminous A (sub-bituminous peringkat lebih tinggi) berwarna abu-abu sampai hitam dan mengkilat seperti batubara bituminous. Batubara sub-bituminous terkadang disebut sebagai lignit hitam (Jackson, 1997).
3. Batubara bitumen berwarna hitam, berkilau, dan umumnya keras. Mereka adalah batubara peringkat menengah. Batubara bitumen umumnya memiliki nilai kalor di atas 11.500 /lb dan zat terbang di bawah 14% (Jackson, 1997). Dalam sistem klasifikasi AS, batubara bituminous dibagi menjadi lima subdivisi. Batubara bituminous volatil tinggi (B



dan C volatil tinggi) diklasifikasikan berdasarkan nilai kalor kotor (pemanasan). Batubara bituminous C dengan volatil tinggi memiliki nilai kalori 11.500 hingga 13.000 Btu/lb. Batubara bituminous B dengan volatil tinggi memiliki nilai kalori 13.000 hingga 14.000 Btu/lb. Di atas peringkat bituminous yang mudah menguap, bagaimanapun, nilai kalor kurang khas untuk peningkatan peringkat. Peringkat bituminous volatil sedang dan rendah dalam sistem AS, ditentukan berdasarkan bahan volatil atau karbon tetap pada nilai kalor. Batubara bituminous volatil sedang memiliki 22 hingga 31% bahan volatil pada basis bebas bahan mineral kering. Ini sesuai dengan kandungan karbon tetap 69 hingga 78%. Batubara bituminous volatil rendah memiliki 14 hingga 22% bahan volatil pada basis bebas bahan mineral kering. Ini sesuai dengan kandungan karbon tetap 78 hingga 86% (ASTM, 2015).

4. Batubara antrasit adalah batubara peringkat tinggi. Mereka mengkilap (seperti kaca) dan pecah dengan retakan konkoidal (seperti kaca). Sebagian besar batubara tidak mencapai peringkat antrasit, yang membutuhkan panas tinggi dari penguburan yang sangat dalam, metamorfosis tektonik, atau metamorfosis kontak dengan intrusi batuan beku. Peringkat antrasit dibagi menjadi tiga bagian; semi-antrasit, antrasit, dan meta-antrasit. Dalam sistem klasifikasi peringkat AS, peringkat antrasit ditentukan berdasarkan bahan yang mudah menguap dan kandungan karbon tetap. Batubara antrasit memiliki bahan yang mudah menguap kurang dari 14% dan kandungan karbon tetap lebih besar dari 86% pada basis bebas bahan mineral kering (ASTM). Antrasit, yang merupakan tingkatan khusus dari batubara antrasit, memiliki bahan yang mudah menguap dari 2 hingga 8%, dan kandungan karbon tetap dari 92 hingga 98% pada basis bebas bahan mineral kering (Jackson, 1977).

2.1.3 Bentuk Lapisan Batubara



Untuk cekungan, proses sedimentasi, proses geologi selama dan sesudah proses erosi akan menentukan bentuk lapisan batubara. Mengetahui bentuk lapisan batubara akan membantu dalam menentukan dalam menghitung Sumberdaya dan merencanakan cara penambangannya.

Dikenal beberapa bentuk lapisan batubara yaitu: Bentuk *Horse Back*, Bentuk *Pinch*, Bentuk *Clay Vein*, Bentuk *Burried Hill*, Bentuk *Fault*, dan Bentuk *Fold*. Uraian masing-masing bentuk adalah sebagai berikut:

1. Bentuk *Horse Back*, Bentuk ini dicirikan oleh perlapisan batubara dan batuan yang menutupinya melengkung ke arah atas akibat gaya kompresi. Ketebalan ke arah lateral lapisan batubara kemungkinan sama ataupun menjadi lebih kecil atau menipis.
2. Bentuk *Pinch*, Bentuk ini dicirikan oleh perlapisan yang menipis di bagian tengah. Pada umumnya dasar dari lapisan batubara merupakan batuan yang plastis misalnya batulempung sedang di atas lapisan batubara secara setempat ditutupi oleh batupasir yang secara lateral merupakan pengisian suatu alur.
3. Bentuk *Clay Vein*, Bentuk ini terjadi apabila di antara 2 bagian deposit batubara terdapat urat lempung. Bentuk ini terjadi apabila pada satu seri deposit batubara mengalami patahan, kemudian pada bidang patahan yang merupakan rekahan terbuka terisi oleh material lempung ataupun pasir.
4. Bentuk *Burried Hill*, Bentuk ini terjadi apabila di daerah di mana batubara semula terbentuk terdapat suatu kulminasi sehingga lapisan batubara seperti "terintrusi".
5. Bentuk *Fault*, Bentuk ini terjadi apabila di daerah di mana deposit batubara mengalami beberapa seri patahan. Keadaan ini akan mengacaukan di dalam perhitungan Sumberdaya, akibat adanya perpindahan perlapisan akibat pergeseran kearah vertikal. Dalam melakukan eksplorasi batubara di daerah yang banyak gejala patahan harus dilakukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Untuk daerah seperti ini disamping kegiatan pemboran maka penyelidikan geofisika sangat membantu di dalam melakukan interpretasi dan korelasi antar lubang pemboran
6. Bentuk *Fold*, Bentuk ini terjadi apabila di daerah di mana deposit batubara mengalami ipatan. Makin intensif gaya yang bekerja pembentuk perlipatan akan makin kompleks ipatan tersebut terjadi. Dalam melakukan eksplorasi batuabara di daerah yang banyak la perlipatan, apalagi bila di daerah tersebut juga terjadi patahan harus dilakukan



dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Untuk daerah seperti ini di samping kegiatan pemboran maka penyelidikan geofisika sangat membantu di dalam melakukan interpretasi dan korelasi antar lubang pemboran. Dari uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa untuk mengetahui jumlah Sumberdaya deposit batubara di suatu daerah, penyelidikan geologi detail perlu dilakukan.

2.2 Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara

Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara didasarkan pada tingkat keyakinan geologi dan kajian kelayakan (BSN, 2019).

1. Aspek geologi, Keyakinan geologi (*geological assurance*) merupakan tingkat kepercayaan tentang keberadaan lapisan batubara yang ditentukan oleh tingkat kerapatan dan kualitas titik informasi geologi serta interpretasi geologi yang meliputi ketebalan, kemiringan lapisan, kemenerusan, bentuk dan sebaran lapisan batubara, struktur geologi, ketebalan tanah penutup, kualitas dan kuantitas batubara sesuai dengan tingkat penyelidikan. Berdasarkan tingkat keyakinan geologi, sumber daya terukur harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber daya tertunjuk, begitu pula sumber daya tertunjuk harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber daya tereka. Sumber daya terukur dan tertunjuk secara berturut-turut dapat dikonversi menjadi cadangan terkira dan terbukti setelah memenuhi kriteria layak (Gambar 3). Tingkat keyakinan geologi tersebut secara kuantitatif diceminkan oleh jarak titik pengamatan dan kompleksitas geologi. Persyaratan jarak titik pengamatan untuk setiap kondisi geologi dan kelas sumber dayanya diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jarak titik pengamatan menurut kondisi geologi (BSN, 2019).



ologi	Kriteria	Sumberdaya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
1a	Jarak titik pengamatan (m)	$1.000 < x \leq 1.500$	$500 < x \leq 1.000$	$x \leq 500$
t	Jarak titik pengamatan (m)	$500 < x \leq 1.000$	$250 < x \leq 500$	$x \leq 250$

Kompleks	Jarak titik pengamatan (m)	$250 < x \leq 500$	$100 < x \leq 250$	$x \leq 100$
----------	----------------------------	--------------------	--------------------	--------------

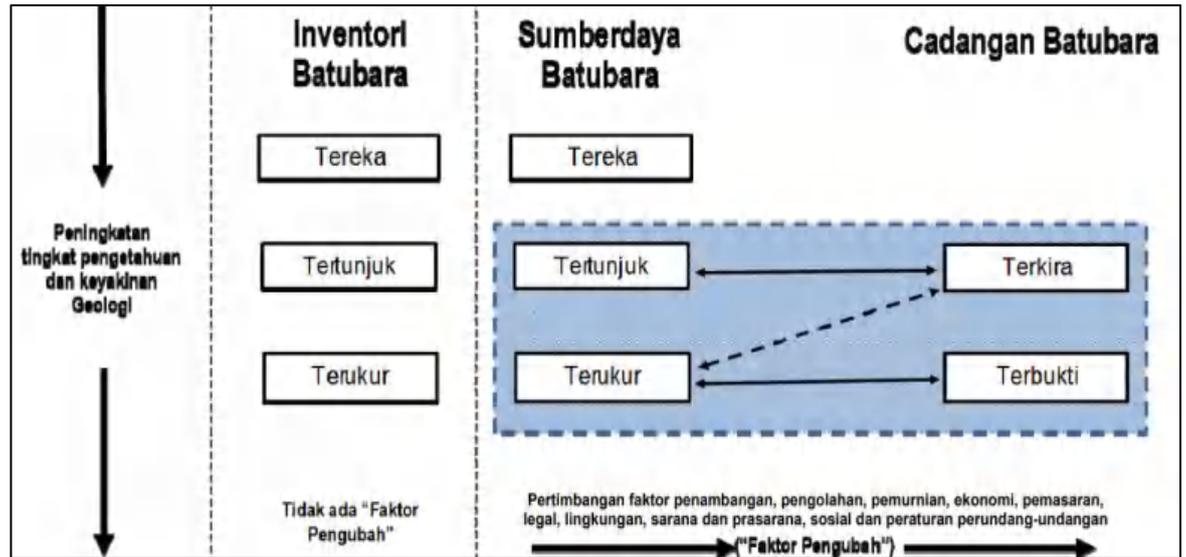
2. Aspek kelayakan Aspek kelayakan merupakan faktor pengubah yang meliputi teknis penambangan, pengolahan, ekonomi, pemasaran, legalitas, lingkungan, sarana dan prasarana, sosial, serta peraturan perundang-undangan.

Sumber daya batubara (*Coal resources*) merupakan bagian dari endapan batubara dalam bentuk dan kuantitas tertentu serta mempunyai prospek beralasan yang memungkinkan untuk ditambang secara ekonomis. Lokasi, kualitas, kuantitas karakteristik geologi dan kemenerusan dari lapisan batubara yang telah diketahui, diperkirakan atau diinterpretasikan dari bukti geologi tertentu. Sumber daya batubara dibagi sesuai dengan tingkat kepercayaan geologi ke dalam kategori tereka, terunjuk dan terukur (BSN, 2019):

1. Sumberdaya Batubara Tereka (*inferred Coal Resource*) tereka adalah bagian dari total estimasi sumberdaya batubara total yang kualitas dan kuantitasnya hanya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang rendah. Titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya. Estimasi dari kategori kepercayaan ini dapat berubah secara berarti dengan eksplorasi lanjut, seperti yang terdapat pada gambar 4.
2. Sumberdaya Batubara Tertunjuk (*indicated Coal Resource*) adalah bagian dari estimasi sumberdaya batubara total yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan beralasan, didasarkan pada informasi yang didapat dari titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung. Titik pengamatan yang ada cukup untuk menginterpretasikan kemenerusan lapisan batubara, tetapi tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan atau kualitasnya.

3. Sumberdaya Batubara Terukur (*measured Coal Resource*) adalah bagian dari estimasi sumberdaya batubara total yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan tinggi, didasarkan pada informasi yang didapat dari titik pengamatan yang diperkuat dengan data pendukung. Titik pengamatan jaraknya cukup berdekatan





Gambar 3. Hubungan antara inventori, sumberdaya dan cadangan Batubara (BSN, 2019).

Cadangan batubara (*coal reserves*) merupakan bagian dari sumber daya batubara tertunjuk dan/atau terukur yang dapat ditambang secara ekonomis. Dalam proses estimasi cadangan batubara, studi yang tepat pada tingkat minimum prastudi kelayakan harus sudah dilakukan dengan mempertimbangkan semua faktor pengubah (*modifying factors*) yang relevan meliputi teknis penambangan, pengolahan, sarana dan prasarana, ekonomi, pemasaran, legal, lingkungan, sosial, dan peraturan perundang-undangan. Studi tersebut harus bisa mendemonstrasikan bahwa cadangan batubara tersebut secara teknis dapat ditambang dan secara ekonomi menguntungkan. Berdasarkan tingkat keyakinannya, cadangan batubara dibagi menjadi cadangan terkira dan cadangan terbukti. Cadangan terkira memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah dibandingkan cadangan terbukti

1. Cadangan batubara terkira (*probable coal reserve*) adalah bagian dari sumber daya batubara tertunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis setelah semua faktor pengubah yang relevan dipertimbangkan. Cadangan batubara terkira juga bisa diartikan sebagai bagian dari sumber daya batubara terukur yang dapat ditambang secara ekonomis, namun hasil penilaian terhadap faktor pengubah menunjukkan bahwa terdapat ketidakpastian pada salah satu atau lebih dari faktor pengubah tersebut.



2. Cadangan batubara terbukti (*proven coal reserve*) adalah bagian dari sumberdaya batubara terukur yang dapat ditambang secara ekonomis, setelah dipastikan bahwa tidak terdapat keraguan terhadap faktor pengubah terkait yang dipertimbangkan.

2.3 Geologi Regional

Daerah penelitian berada di dalam Cekungan Kutai. Cekungan Kutai terbentuk karena proses pemekaran pada kala Eosen Tengah yang diikuti oleh fase pelenturan dasar cekungan yang berakhir pada Oligosen Akhir. Peningkatan tekanan karena tumbukan lempeng mengakibatkan pengangkatan dasar cekungan ke arah baratlaut yang menghasilkan siklus regresif utama sedimentasi klastik di Cekungan Kutai, dan tidak terganggu sejak Oligosen Akhir hingga sekarang (Ferguson *and* McClay, 1997).

Pulau Kalimantan dan khususnya Cekungan Kutai telah mengalami sejarah tektonik yang kompleks dari Paleogen sampai hari ini. Cekungan Kutai terbentuk pada awal zaman Tersier dan terisi dengan sedimen klastik yang berkembang dari bagian barat ke timur cekungan. Cekungan ini dibagi lagi menjadi Cekungan Kutai Atas, terdiri dari singkapan Paleogen dengan vulkanik Cenozoic yang memiliki butiran struktural barat laut-tenggara yang kuat, dan Cekungan Kutai Bawah dengan strata Miosen yang tumbuh distruktur utara-timur laut-tren. Pegunungan Meratus di barat daya dan Pegunungan Kalimantan Tengah di utara Cekungan Kutai memiliki ruang bawah tanah ophiolitik bersama dengan strata Paleogen yang mencolok secara dominan diarah utara-timurlaut (Clay *et al.*, 2000).

Menurut Supriatna dan Rustandi (1986) suksesi Neogene di Cekungan Kutai termasuk dari bawah ke atas formasi berikut: Pamaluan, Bebuluh, Pulau Balang, Balikpapan, Pembentukan Kampung Baru dan aluvial. Formasi Pamaluan (setebal 1500 m) terdiri dari batu pasir dengan penyisipan batu liat, serpih, batu kapur, dan siltstone. Ini terbentuk di lingkungan



dalam selama zaman Oligosen Akhir dan Miosen Awal. Formasi Miosen Bebuluh (setebal 900 m) terdiri dari batu kapur dengan penyisipan batu kapur berpasir dan serpih

: Deposisi formasi terjadi di laut dangkal. Formasi Bebuluh dengan Formasi

Formasi Pulau Balang berumur Miosen Awal hingga Tengah secara bersamaan

menutupi Bebuluh. Ini terdiri dari wackes abu-abu, batupasir kuarsa, batugamping, batulempung, tuf dasit dan penyisipan batubara. Ketebalan lapisan batubara berkisar dari 3 sampai 4m. Lingkungan pengendapan dapat dicirikan sebagai delta ke laut deltaik ke laut dangkal menurut Supriatna dan Rustandi (1986). Formasinya sekitar 900 m tebalnya. Formasi Tengah ke Atas Miosen Balikpapan (1000–1500 m tebal) secara seragam melintasi Formasi Pulau Balang dan terdiri dari batu pasir kuarsa, tanah liat dengan penyisipan serpih, dan lapisan batubara setebal 5 hingga 10 m. Pengendapan dari Formasi Balikpapan terjadi pada lingkungan delta. bagian atas Miosen hingga Paleosen Formasi Kampung Baru tumpang tindih dengan Formasi Balikpapan. Ini terdiri dari batu pasir kuarsa dengan penyisipan lempung, serpih, lanau dan batubara setebal kurang lebih 3 m (lignit). Pengendapan Formasi Kampung Baru setebal 900 m, suksesi sedimen terjadi di delta. Endapan Aluvium (aluvial) terdiri dari lempung berpasir dan pasir berlempung.

Pada kala Miosen Tengah pengangkatan dasar cekungan dimulai dari bagian barat Cekungan Kutai yang bergerak secara progresif ke arah timur sepanjang waktu dan bertindak sebagai pusat pengendapan (Tanean, 1996). Selain itu juga terjadi susut laut yang berlangsung terus menerus sampai Miosen Akhir. Bahan yang terendapkan berasal dari bagian selatan, barat dan utara cekungan menyusun Formasi Pulaubalang dan Formasi Balikpapan.

Sedimen Tersier yang diendapkan di Cekungan Kutai di bagian timur sangat tebal dengan fasies pengendapan yang berbeda dan memperlihatkan siklus genang-susut laut. Urutan transgresif ditemukan sepanjang daerah tepi cekungan berupa lapisan klastik yang berbutir kasar, juga di pantai hingga marine dangkal. Pengendapan pada lingkungan laut terus berlangsung hingga Oligosen dan menandakan perioda genang laut maksimum.

Lapisan Miosen di Cekungan Kutai bagian hilir sering diasosiasikan dengan endapan delta (Marks dkk, 1982). Formasi Pulaubalang yang diendapkan menjemari dan atau selaras

masi Bebulu, mempunyai ciri satuan klastika halus dan kasar yang bersifat deltaik.

: Balikpapan (Miosen Tengah) dan Kampungbaru (Miosen Tengah – Akhir)



mempunyai ciri sebagai endapan delta. Keduanya secara selaras dan berurutan terletak diatas Formasi Pulaubalang dan merupakan penghasil hidrokarbon utama di Cekungan Kutai.

Endapan batubara biasanya hanya ditemukan dalam cekungan – cekungan yang pada saat pengendapan material sedimen muncul di atas permukaan laut, seperti danau, rawa, delta, muara dan lain-lain pada suatu sistem geologi tertentu. Sistem geologi meliputi suatu area yang luas (regional) dengan beberapa unsur – unsurnya seperti gunung, lautan, sungai, jalur patahan/gempa dan lain – lain, dimana semua unsur tersebut saling mempengaruhi antara satu dengan yang lainnya.

2.4.1 Geomorfologi

Secara umum, Topografi dan geomorfologi wilayah IUP PT BRCM sebagian berada di Kecamatan Samboja Kelurahan Sungai Merdeka sebagian besar bergelombang sampai berbukit dengan kelerengan landai sampai curam. Daerah dengan kemiringan datar sampai landai terdapat beberapa bagian yaitu wilayah pantai dan Daerah Aliran Sungai Mahakam. Pada wilayah pedalaman dan perbatasan pada umumnya merupakan kawasan pegunungan dengan ketinggian 500 – 2000 mdpl.

Menurut S. Supriatna dan E. Rustandi (1995), Cekungan Kutai dicirikan oleh tiga satuan morfologi. Di bagian Tengah bentang alam berbukit yang sebagian bergelombang, delta Mahakam di bagian Timur dan bagian Barat adalah dataran berawa. Daerah perbukitan di bagian tengah dalam menempati lebih dari setengah lembar samarinda.

Delta Mahakam menjorok ke laut, Delta Mahakam merupakan contoh khas delta yang membentuk kaki burung. Pada perkembangannya timbul sejumlah alur seperti Muara Kaeli, Muara Pantunan, Sungai Terusan Pamanaran dan Muara Nujit. Medan delta yang rendah tertutup rawa dengan vegetasi khas yaitu bakau dan rumbia. Dataran berawa di bagian Barat laut terisolir oleh Sungai Mahakam, karena pengangkatan terjadi di perbukitan di sebelah Timur galirannya terhambat dan mengakibatkan pembentukan rawa dan danau di pedalaman.



2.4.2 Litologi

Litologi daerah IUP PT BRCM termasuk ke dalam Formasi Balikpapan. Formasi Balikpapan terutama disusun oleh: batulempung dan sisipan batupasir, batulanau dan batubara. Batulempung dengan sisa tumbuhan, berlapis buruk sampai baik. Batupasir halus - sedang terpilah baik sisipan oksida besi dan batubara. Batulanau dan serpih berlapis baik. Batugamping, lensa, pejal mengandung Fosil *Flosculinela Borneoensis* Tan, *Miogyssina* Sp, *Lepidocyclina* Sp, *Cycloclypeus annulatus* yang menunjukkan umur awal Miosen Akhir. Lingkungan pengendapannya delta - litoral sampai laut dangkal. Tebalnya lebih kurang 1800 m.

Formasi-formasi yang tersebar di sekitar daerah penyelidikan berada pada stratigrafi bagian atas dari Cekungan Kutai yang mempunyai ciri-ciri sebagai berikut (Supriatna dkk., 1995):

1. Formasi Pamaluan (Tomp), terdiri atas batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau yang berlapis baik. Batupasir kuarsa merupakan batuan utama yang berwarna kelabu kehitaman-kecoklatan, berbutir halus-sedang, terpilah baik, butiran membulat-membulat tanggung, padat, karbonan dan gampingan. Setempat dijumpai struktur sedimen silang silur dan perlapisan sejajar, tebal lapisan antara 1 – 2 meter. Batu lempung berwarna kelabu dengan tebal rata-rata 45 cm. Serpih berwarna kelabu kecoklatan-kelabu tua, padat, tebal lapisan antara 10 – 20 cm. Batugamping berwarna kelabu, pejal, berbutir sedang-kasar, setempat berlapis dan mengandung foraminifera besar. Batulanau berwarna kelabu tuakehitaman. Formasi Pamaluan merupakan batuan bawah yang tersingkap di lembar ini dan bagian atas formasi ini berhubungan menjemari dengan formasi Bebuluh. Tebal formasi ini kurang lebih 2000 meter.
2. Formasi Bebuluh (Tmb), terdiri atas batugamping terumbu dengan sisipan batugamping pasiran dan serpih. Batugamping berwarna kelabu, padat, mengandung foraminifera kasar, berbutir sedang, setempat batugamping menghablur, terkekarkan tak beraturan. Serpih berwarna kelabu kecoklatan berselingan dengan batupasir halus berwarna kelabu kehitaman. Foraminifera yang dijumpai antara lain; *Lepidocyclina sumatraensis*



BRADY, *Miogypsina* sp., *Miogypsinoidea* sp., *Operculina* sp. menunjukkan umur Miosen Awal – Miosen Tengah. Lingkungan pengendapan laut dangkal dengan ketebalan sekitar 300 meter. Formasi Bebuluh tertindih selaras oleh formasi Pulau Balang.

3. Formasi Pulaubalang (Tmpb), perselingan batupasir kuarsa sisipan batugamping, tuf dasit dan batulempung dengan sisipan batubara. Tebal formasi 2.750 m, berumur Miosen Awal hingga Miosen Tengah dan diendapkan dalam lingkungan laut dangkal.
4. Formasi Balikpapan (Tmbp), terdiri atas perselingan batupasir kuarsa, batulempung sisipan batu lanau dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara. Tebal formasi 1.000 – 1.500 m, berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir dan diendapkan dalam lingkungan delta dan laut dangkal. Formasi menindih selaras di atas Formasi Pulaubalang.
5. Formasi Kampungbaru (Tpkb), terdiri atas batulempung pasiran, batupasir kuarsa, batulanau sisipan batubara, napal, batugamping dan lignit. Ketebalannya lebih dari 500 m, berumur Miosen Akhir hingga Pliosen dan diendapkan dalam lingkungan delta dan laut dangkal. Formasi ini menindih selaras dan setempat tidak selaras dengan formasi Balikpapan.

2.4.3 Struktur

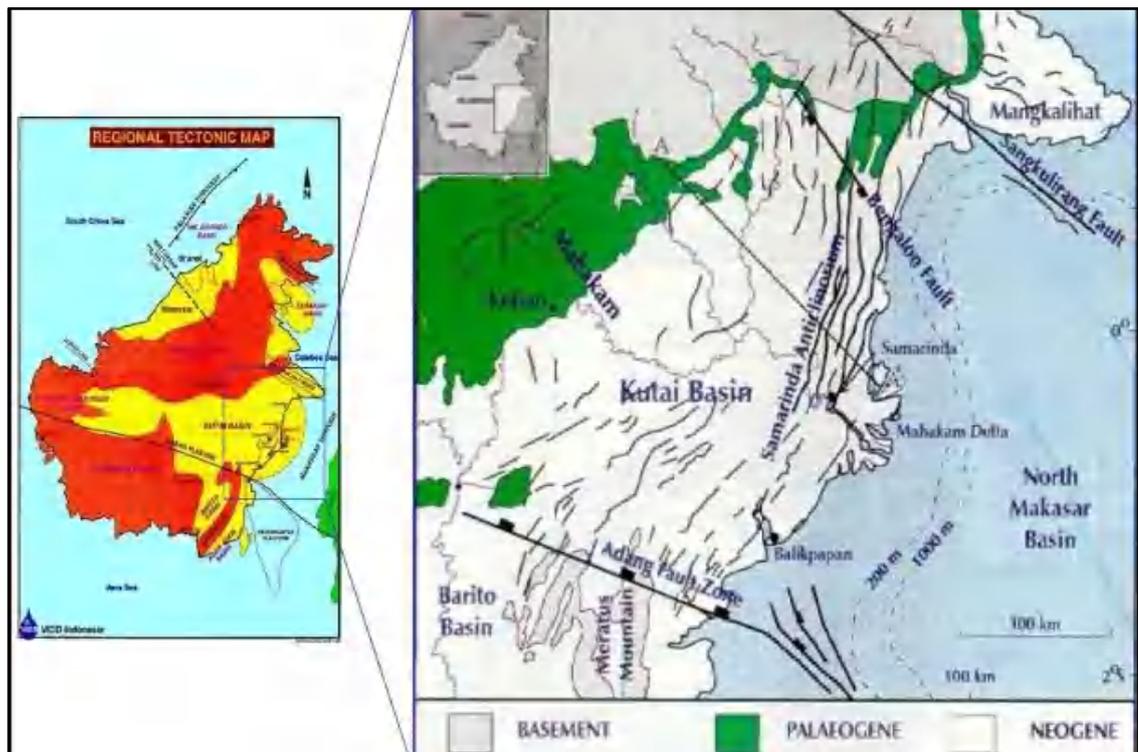
Kondisi geologi daerah kutai mempunyai variasi litologi yang cukup menarik dan beragam dalam berbagai jenjang umur serta variasi aktivitas tektoniknya, disertai dengan adanya batuan intrusi sehingga terbentuk zona mineralisasi yang besar kemungkinannya membentuk bahan galian mineral yang mempunyai nilai ekonomi di masa mendatang. Stratigrafi diawali oleh batuan Pra-Tersier dari Komplek Ofiolit dan Ultramafik berumur Trias, diikuti Bancuh Kelinjau dan Formasi Telen berumur Jura, serta Bancuh Tabang dan Komplek



yang berumur Kapur. Batuan Tersier yang tersingkap berumur dari Eosen hingga antara lain Formasi-Formasi Tanjung, Toyu, Pamaluan, Warukin, Wahau, Pulau Balikpapan, Marah, Mangkupa, Tabalar, Kedango, Karangan, Maluwi, Lembak, Batu

Kelau, Haloq, Batu Ayau, Sembakung, Merangoh, Menubar, Tendehantu, Batugamping Ritan, Bebuluh, Berai, Latih, Birang, Maa, Labanan, Golok, Domaring, BatuKutai Kartanegara and East Kutai Kayan Niut, Dahor dan Kampung Baru, serta Batuan-Batuan Gunungapi Mentulang, Jelai dan Nyaan, diikuti oleh batuan intrusi Granit Kelay, Diorit Ritan, Granit-Granodiorit Sintang dan Diorit Antan berumur Eosen hingga Plistosen. Seluruh sekuen batuan tersebut ditutupi oleh Batugamping Terumbu dan Aluvium. Struktur geologi yang berkembang berupa perlipatan, pensesaran dan kelurusan yang terjadi pada Kala Intra Miosen hingga Plistosen. Perlipatan membentuk antiklin dan sinklin asimetris dengan sumbu berarah umum timurlaut-baratdaya, pada beberapa tempat dipotong oleh sesar mendatar berarah baratlaut-tenggara dan utara-selatan. Sesar naik dan sesar normal umumnya berarah timurlaut-baratdaya, serta kelurusan berarah utara-selatan dan timurlaut-baratdaya (Priyono dkk, 2003).

Peta struktur geologi regional Cekungan Kutai dapat dilihat pada Gambar 4.



Peta struktur geologi regional Cekungan Kutai (Supriatna dkk., 1995).

Secara fisiografi, struktur yang berkembang di lokasi IUP PT. BRCM berupa lipatan antiklin dan sesar, lipatan umumnya berarah Timurlaut - Baratdaya, dengan sayap simetris di bagian Tenggara. Formasi Pamaluan, Berbuluh dan Balikpapan sebagian terlipat



kuat dengan kemiringan antara 40°-75°. Batuan yang lebih muda seperti Formasi Kampungbaru pada umumnya terlipat lemah. Di daerah ini terdapat tiga jenis sesar yaitu sesar naik, sesar turun, dan sesar mendatar. Sesar naik diduga terjadi pada Miosen Akhir yang kemudian terpotong oleh sesar mendatar yang terjadi kemudian. Sesar turun terjadi pada kala Pliosen. Di daerah Embalut terdapat lipatan yang membentuk antiklin maupun sinklin. Struktur geologi regional dan tektonika yang berkembang di sekitar daerah penyelidikan adalah berupa perlipatan, sesar dan kelurusan berarah Barat Daya-Timur Laut dan Barat Laut hingga Tenggara.

Struktur perlipatan berupa antiklin dan sinklin dengan sumbu yang relatif sejajar dengan pola struktur regional yakni Barat Daya hingga Timur Laut, sayap-sayap struktur antiklin dan sinklin umumnya membentang asimetris dengan sudut kemiringan yang landai hingga curam. Secara setempat ujung-ujung sumbu struktur perlipatan tersebut, sebagian ada yang menonjang, terpotong oleh struktur sesar atau tertimbun batuan lain. Struktur antiklin dan sinklin sebagian besar melipat batu-batuan sedimen berumur Tersier dan menyingkapkan batuan malihan dan sedimen yang berumur jauh lebih tua. Beberapa batuan sedimen Tersier pembawa batubara yang ikut terlipat, juga menyingkapkan atau mendekatkan lapisan batubara ke permukaan bumi.

Struktur sesar umumnya membentuk sesar normal, sesar geser dan sesar naik, dengan pola berarah Baratlaut-Tenggara dan Baratdaya-Timur laut. Struktur sesar yang nampak saat ini umumnya mengoyak batuan-batuan sedimen berumur Tersier dan Pra-Tersier. Struktur ini kemungkinan yang menyebabkan terjadinya proses intrusi yang menghasilkan mineralisasi, atau mengubah karakteristik lapisan batubara. Kelurusan-kelurusan yang terbentuk, diperkirakan merupakan jejak atau indikasi struktur sesar dan kekar dengan pola yang searah struktur umum regional. Kelurusan ini umumnya menoreh batuan-batuan berumur Tersier dan Pra-Tersier.

Mengingat litologi di daerah ini didominasi oleh batuan yang berumur Tersier, diduga sesar, perlipatan dan kelurusan yang terlihat sekarang, berhubungan erat dengan tektonik pada Zaman Tersier atau Intra Miosen. Secara regional kegiatan tektonik di



daerah ini dimulai sejak Mesozoikum hingga Tersier seiring dengan terbentuknya urutan stratigrafi dari litologi formasi batuan yang terlihat sekarang (Supriatna dkk, 1995).

2.4 Metode Poligon

Metode poligon merupakan metode perhitungan yang konvensional dibandingkan dengan metode lainnya, karena pada perhitungan Sumberdaya endapannya tidak begitu memperhatikan struktur patial diobservasi daerah dan yang akan tidak begitu memperhatikan data dari titik bor sekitarnya. Sebelum perhitungan dengan melakukan metode polygon. Untuk mengetahui terlebih dahulu diketahui variabel yang mempengaruhi perhitungan, diantaranya:

1. Luas blok/poligon yang akan dihitung.
2. Ketebalan endapan batuan pada lubang bor yang terletak pada blok yang akan dihitung Sumberdaya endapan batubara.
3. Densitas batubara yang terletak pada blok yang akan dihitung.

Adapun kelebihan dan kekurangan perhitungan menggunakan metode poligon, yaitu:

1. Kelebihan
 - a. Perhitungan dapat dilakukan dalam waktu singkat.
 - b. Cocok untuk bahan galian yang tidak bervariasi (homogen).
 - c. Hasilnya lebih tepat apabila ketebalan batubara relatif seragam.
2. Kekurangan

Metode poligon memiliki kekurangan yaitu kurang tepat untuk yang bervariasi (*inconsistent bed*) (Hurstrulid and Kutcha, 1995).

Dalam metode polygon pada suatu area yang berada di tengah-tengah polygon yang sering disebut daerah pengaruh (*area influence*) dengan membagi dua antara jarak satu titik dengan titik lainnya dan menarik garis sehingga membentuk suatu batas-batas area pengaruh

ap titik. Sebagai satu polygon memiliki kadar dan ketebalan yang konstan dengan ta ketebalan titik bor yang berada di dalam area pengaruh (*polygon*). Dalam in sumberdaya menggunakan metode polygon dengan menentukan batas-batas untuk a titik bor kemudian menghitung luasan area pengaruh dan dikaliakan dengan



ketebalan setiap titik bor akan didapatkan volume dari setiap area pengaruh untuk mendapatkan jumlah tonase dari batubara volum batubara dikalikan dengan nilai densitas batubara yang diasumsikan $1,3 \text{ ton/m}^3$.

