

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk *ash* (debu), tersebar sebagai partikel zat mineral yang terpisah di seluruh senyawa batubara (Elliot, 1981). Secara ringkas, batubara didefinisikan sebagai batuan karbonan berbentuk padat, rapuh, berwarna coklat tua sampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan komposisi tumbuhan secara kimia dan fisik (Arif, 2014).

Saat ini, batubara merupakan komoditas energi yang permintaannya terus meningkat untuk pemenuhan kebutuhan energi dunia, termasuk Indonesia. Batubara merupakan salah satu komoditas energi yang penting di Indonesia. Jumlah sumberdaya dan cadangan batubara di Indonesia tersebar di beberapa cekungan utama di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera. Sebagian besar potensi batubara Sumatera terdapat di Cekungan Sumatera Selatan (61,25 miliar ton dan tambang dalam 20,66 miliar ton) dan Cekungan Sumatera Tengah (1,76 miliar ton), serta sebagian kecil di Cekungan Ombilin (0,80 miliar ton), Cekungan Aceh Barat (0,45 miliar ton) dan Cekungan Bengkulu (0,21 miliar ton). Di Pulau Kalimantan, sebagian besar potensi batubara terdapat di Cekungan Kutai, Berau, dan Tarakan (40,67 miliar ton) serta Cekungan Barito dan Asem-asem (14,21 miliar ton), dan sebagian kecil di Cekungan Melawi serta Ketungau (0,49 miliar ton) (Arif, 2014).

Eksplorasi batubara merupakan kegiatan penyelidikan suatu wilayah untuk mengidentifikasi keterdapatn endapan batubara yang meliputi ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas, dan kualitas serta mengidentifikasikan faktor-faktor geologi yang akan mengontrol dalam pengembangan tambang sebagai dasar dalam penilaian kemungkinan untuk dilakukan investasi. Hasil dari kegiatan eksplorasi ini diharapkan dapat memberikan informasi geologi yang lebih akurat sehingga dapat menjadi sumber informasi yang sangat baik dalam membuat perencanaan dan pengembangan wilayah tambang dalam keberlangsungan bisnis perusahaan serta

dapat menentukan daerah yang prospek untuk dilakukan kegiatan penambangan (Rahmad, *et al.*, 2017)

Kegiatan estimasi sumberdaya merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan pada tahap eksplorasi sebelum dilakukan penambangan sehingga diketahui bentuk, kuantitas, kualitas dan kemenerusan dari lapisan batubara berdasarkan bukti geologi tertentu. Metode estimasi sumberdaya batubara yang umum digunakan berdasarkan (SNI 5015, 2019) adalah metode poligon yang diambil dari titik pengamatan terluar sebagai radius lingkaran. Radius lingkaran digunakan sebagai daerah pengaruh (*area of influence*) data titik pengamatan berdasarkan dari kompleksitas geologi daerah penelitian. Metode ini dianggap sesuai untuk diterapkan dalam perhitungan sumberdaya batubara, karena metode ini ditujukan pada pengukuran bahan galian yang berbentuk perlapisan (tabular) yang memiliki ketebalan dan kemiringan lapisan yang relatif konsisten (Wood, *et al.*, 1983).

PT Trisensa Mineral Utama telah melakukan kegiatan penambangan di wilayah Desa Tani Harapan, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur yang termasuk dalam Cekungan Kutai yang merupakan salah satu daerah penghasil batubara terbesar di Indonesia. PT Trisensa Mineral Utama terus melakukan penyelidikan eksplorasi lanjutan guna mencari area prospek baru yang potensial sehingga dapat digunakan sebagai tindak lanjut untuk dilakukan penambangan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian estimasi sumberdaya ini dilakukan untuk mengetahui arah kemenerusan (*strike*), kemiringan (*dip*), ketebalan sebenarnya (*true thickness*), dan tonase hasil estimasi sumberdaya terukur batubara pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana arah kemenerusan (*strike*) dan kemiringan (*dip*) lapisan batubara *seam* 42 dan *seam* 43 pada blok timur daerah penelitian?
2. Berapa rata-rata ketebalan sebenarnya (*true thickness*) lapisan batubara pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur daerah penelitian?
3. Berapa tonase hasil estimasi sumberdaya terukur batubara pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis arah kemenerusan (*strike*) dan kemiringan (*dip*) lapisan batubara *seam* 42 dan *seam* 43 pada blok timur daerah penelitian.
2. Menganalisis rata-rata ketebalan sebenarnya (*true thickness*) lapisan batubara pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur daerah penelitian.
3. Mengestimasi tonase sumberdaya terukur batubara pada *seam* 42 dan *seam* 43 menggunakan metode poligon daerah pengaruh pada blok timur daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan memberikan informasi mengenai arah kemenerusan (*strike*), kemiringan (*dip*), ketebalan, serta estimasi sumberdaya terukur batubara pada daerah penelitian sehingga dapat menjadi acuan dalam melakukan penelitian yang lebih lanjut. Selain itu, penelitian ini juga bisa menjadi bahan referensi bagi peneliti-peneliti dalam bidang studi yang serupa khususnya dalam metode perhitungan sumberdaya endapan batubara menggunakan metode poligon daerah pengaruh serta dapat menjadi bahan pustaka di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini terbatas pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur dari IUP PT Trisensa Mineral Utama, Desa Tani Harapan, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, terdapat *seam-seam* lain pada blok timur daerah penelitian yang tidak dilakukan estimasi karena keterbatasan data. Selain itu, estimasi sumberdaya batubara yang dilakukan pada *seam* 42 dan *seam* 43 blok timur daerah penelitian tidak mengestimasi kualitas batubara dikarenakan keterbatasan data kualitas. Data bor yang didapatkan akan diestimasi menggunakan metode poligon daerah pengaruh dengan menggunakan *software* Minescape 5.7, ArcMap 10.8, dan Microsoft Excel.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembentukan Batubara

Batubara merupakan bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari proses penggabungan dan pembatubaraan di dalam suatu cekungan (daerah rawa) dalam jangka waktu geologis yang meliputi aktivitas biogeokimia terhadap akumulasi flora di alam yang mengandung selulosa dan lignin. Proses pembatubaraan juga dibantu oleh faktor tekanan (berhubungan dengan kedalaman) dan suhu (berhubungan dengan pengurangan kadar air dalam batubara) (Sukandarrumidi, 1995). Batubara adalah suatu material yang tersusun dari bahan organik dan anorganik dengan kandungan bahan organik pada batubara mencapai 50% bahkan hingga 75%. Bahan organik ini disebut dengan maseral yang berasal dari sisa tumbuhan dan telah mengalami berbagai tingkat dekomposisi serta perubahan sifat fisik dan kimia baik sebelum maupun sesudah tertutup oleh lapisan batuan di atasnya, sedangkan bahan anorganik disebut dengan mineral *matter* (Lashin & Mogren, 2012). Kehadiran mineral dalam jumlah tertentu akan mempengaruhi nilai dari kualitas suatu endapan batubara terutama untuk parameter-parameter seperti abu, sulfur, dan nilai kalori yang sangat berpengaruh terhadap penggunaan batubara. Keterdapatannya mineral dalam batubara bermanfaat dalam mempelajari genesisnya (Finkelman, 1993).

Menurut (Sukandarrumidi, 1995) berdasarkan tempat pembentukan batubara, dikenal dua macam teori yaitu:

1. Teori *In situ*

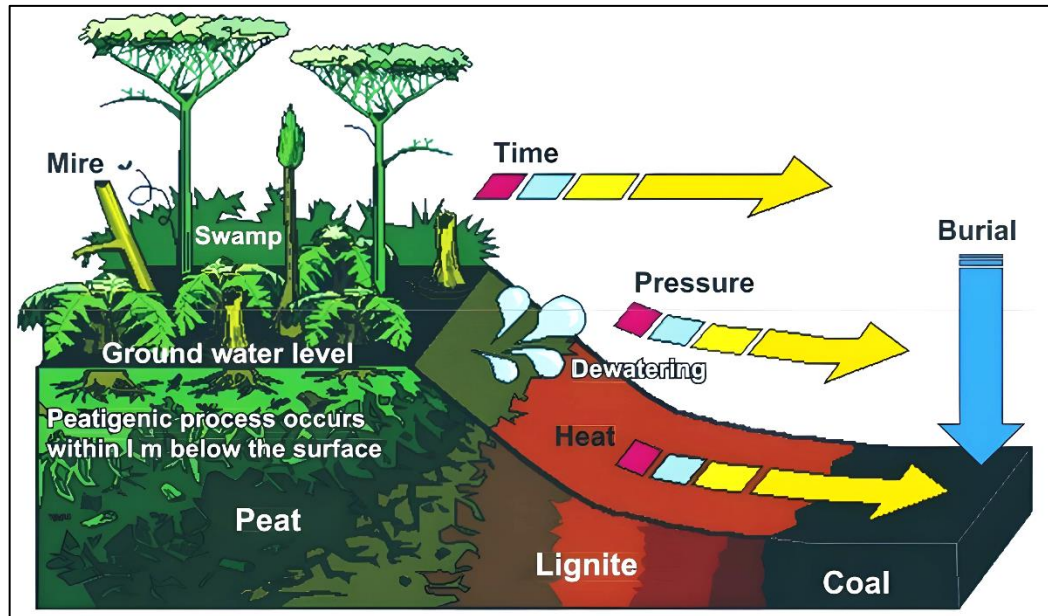
Berdasarkan teori *insitu* dikatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuk di tempat asal dimana tumbuh-tumbuhan itu berada. Dengan demikian segera setelah tumbuhan tersebut mati dan belum mengalami proses transportasi, namun segera tertutup oleh lapisan sedimen di atasnya dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*). Batubara yang terbentuk sesuai dengan teori *insitu* biasanya terjadi di hutan basah dan berawa, sehingga tumbuhan pada saat mati dan roboh, langsung tenggelam ke dalam rawa tersebut dan mengalami pembusukan secara sempurna

sehingga akhirnya menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran yang luas dan merata serta kualitasnya lebih baik, karena kandungan abunya yang relatif kecil. Batubara yang terbentuk biasanya disebut dengan batubara *autochthonous*. Contoh batubara yang terbentuk seperti ini di Indonesia bisa didapatkan di lapangan batubara yang ada di Muara Enim, Sumatera Selatan.

2. Teori *Drift*

Berdasarkan teori *drift* dikatakan bahwa tumbuhan atau pohon pembentuk lapisan batubara, terbentuk bukan di tempat asal dimana tumbuh-tumbuhan itu berada. Dengan demikian tumbuhan atau pohon yang telah mati mengalami transportasi oleh media air dan terakumulasi di suatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*). Tumbuhan atau pohon yang sudah mati dan roboh ke atas tanah kemudian terbawa oleh aliran sungai sehingga sisa-sisa tumbuhan tersebut akhirnya mengendap di delta-delta sungai atau terkumpul dan tersedimentasi di dasar danau. Jenis batubara yang terbentuk melalui proses seperti ini biasanya tidak luas dan mengandung material pengotor yang terangkut selama proses transportasi berlangsung dari tempat tumbuhan tersebut tersedimentasi. Batubara yang terbentuk biasanya disebut dengan batubara *allochthonous*. Contoh batubara yang terbentuk seperti ini di Indonesia dapat ditemukan di lapangan batubara yang terdapat di Delta Mahakam kuno di Kalimantan Timur.

Batubara terbentuk melalui proses yang panjang. Banyak faktor yang terlibat dalam pembentukannya. Dekomposisi tanaman pada proses pembentukan batubara terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Setelah itu, perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan karena adanya tekanan serta pemanasan yang kemudian membentuk suatu lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya mengalami pemadatan dan pengerasan (Flores, 2014). Ilustrasi tahap proses pembatubaraan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi proses pembatubaraan (Flores, 2014)

Proses pembentukan batubara dari tumbuhan dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahap penggambutan (*peatification*) dan tahap pembatubaraan (*coalification*) (Stach, 1982):

1. Pembentukan gambut

Tahap penggambutan merupakan tahap awal dari suatu proses pembentukan batubara. Tahap ini merupakan tahapan dimana sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi reduksi di daerah rawa yang selalu tergenang air dengan kedalaman sekitar 0,5 m sampai dengan 10 m dari permukaan air. Sisa tumbuhan tersebut oleh aktivitas bakteri anaerobik dan jamur diubah menjadi gambut. Perubahan ini disebut proses biokimia karena aktivitasnya dilakukan oleh bakteri.

2. Proses pembentukan batubara

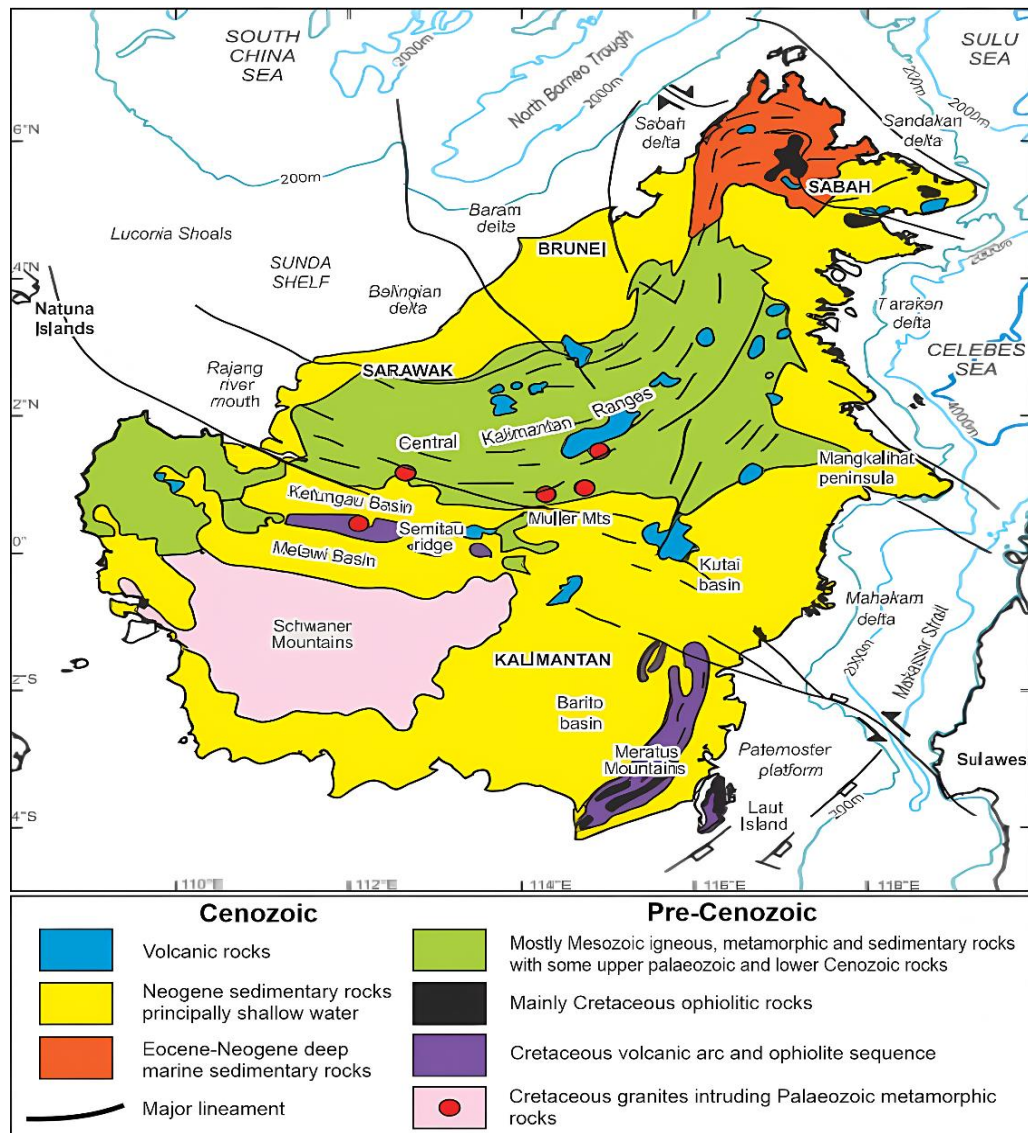
Proses pembatubaraan didominasi oleh proses geokimia. Tahap ini terjadi kenaikan temperatur, tekanan dan waktu sehingga persentase unsur karbon dalam bahan asal pembentukan batubara ini cenderung untuk meningkat. Namun sebaliknya kandungan dari unsur hidrogen dan oksigen dalam sisa tumbuhan tadi menjadi berkurang. Proses pembatubaraan ini akan menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat yang sesuai dengan tingkat kematangan pada bahan organiknya yaitu mulai dari lignit, sub-bituminus,

bituminus, dan antrasit. Adapun faktor terpenting di dalam tahap pembatubaraan adalah peningkatan secara berangsur-angsur dari gradien geotermik, penimbunan (*buried*) dan waktu.

2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Ditinjau secara regional, lokasi penelitian secara geologi merupakan bagian dari Cekungan Kutai. Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan sedimen berumur Tersier di Indonesia dan terletak di Kalimantan bagian timur. Cekungan Kutai terbagi menjadi dua bagian, yaitu Cekungan Kutai bagian atas (*Upper Kutai Basin*) dan Cekungan Kutai bagian bawah (*Lower Kutai Basin*). Kedua bagian cekungan tersebut dibedakan berdasarkan umur dan proses pembentukannya. Cekungan Kutai bagian atas terjadi akibat proses tektonik dan sedimentasi pada masa Paleogen, sedangkan Cekungan Kutai bagian bawah terjadi akibat proses tektonik dan sedimentasi pada masa Neogen. Cekungan Kutai dibatasi oleh Barito Basin dan Pegunungan Meratus ke selatan, dengan *Schwaner Blok* ke barat daya, lalu Tinggian Mangkalihat di sebelah utara – timur laut, dan *Central Kalimantan Mountains* untuk barat dan utara (Moss & Chambers, 1999).

Cekungan Kutai memiliki sejarah yang kompleks dan merupakan salah satu dari sedikit cekungan di Indonesia yang telah berevolusi dari cekungan *rift*/cekungan muka daratan menjadi cekungan *sag-marginal*. Sebagian besar produk awal pengisi Cekungan Kutai telah mengalami inversi dan terangkat ke permukaan, pada Miosen Tengah sampai Miosen Akhir sebagai akibat dari terjadinya tumbukan/kolusi *block Micro Continent*. Dari peristiwa ini menyebabkan adanya pengangkatan cekungan, perubahan sumbu antiklin dan erosi permukaan yang mengontrol sedimentasi pada Delta Mahakam. Delta Mahakam terbentuk di mulut sungai Mahakam sebelah timur pesisir Pulau Kalimantan, dibatasi oleh selat yang memisahkan pulau Kalimantan dan Sulawesi (Satyana, *et al.*, 1999). Akumulasi hidrokarbon di Cekungan Kutai bawah ditemukan dalam batupasir yang berumur Miosen Tengah hingga Akhir yang diendapkan dalam kompleks deltaik di antara dua transgresi laut yang semakin muda dan menebal ke arah timur (Weerd & Armin, 1992). Peta geologi regional Kalimantan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Peta geologi regional Kalimantan (Hall & Nichols, 2002)

2.2.1 Geomorfologi Regional

Cekungan Kutai dibagi menjadi 3 zona geomorfologi yang memanjang dari utara ke selatan (Supriatna, *et al.*, 1995), yaitu:

1. Rawa-rawa, merupakan zona sinklinorium yang pada permukaannya berkembang menjadi rawa. Zona ini berkembang di bagian barat Cekungan, di hulu Sungai Mahakam.
2. Pegunungan Antiklinorium Samarinda, merupakan zona yang terdiri dari perbukitan bergelombang sedang hingga kuat dan memanjang dengan arah relatif timur laut-barat daya. Puncak-puncak bukit dan gunung di zona ini memiliki ketinggian antara 300 - 400 meter yang tersusun seluruhnya oleh

batuan sedimen, membentuk morfologi lembah dan perbukitan bergelombang sedang hingga kuat. Zona ini berada pada bagian tengah dan menempati sebagian besar Cekungan Kutai.

3. Delta Mahakam, merupakan area yang terletak di bagian paling timur Cekungan Kutai. Kondisi morfologi kompleks ini berupa perbukitan lemah sampai dataran delta hasil sedimentasi Sungai Mahakam yang menuju Selat Makassar dan memiliki potensi minyak bumi yang besar.

2.2.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi Cekungan Kutai tersusun atas endapan-endapan sedimen berumur Tersier yang memperlihatkan endapan fase transgresi dan regresi laut (Allen & Chambers, 1998). Stratigrafi Cekungan Kutai dari tua ke muda menurut (Satyana, *et al.*, 1999) dalam Peta Geologi Lembar Samarinda adalah sebagai berikut:

1. Formasi Pamaluan (Tomp)

Formasi ini terdiri dari batu pasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau. Batupasir kuarsa merupakan batuan utama, kelabu kehitaman-kecoklatan, berbutir halus-sedang, terpilah baik, butiran membulat tanggung, padat, karbonan dan gampingan. Setempat dijumpai struktur sedimen silang-siur dan perlapisan sejajar. Tebal lapisan antara 1-2 m. Batulempung tebal rata-rata 45 cm. Serpih, kelabu kecoklatan-kelabu tua, padat, tebal sisipan 10-20 cm. Batugamping kelabu, pejal, berbutir sedang-kasar, setempat berlapis dan mengandung foram besar. Batulanau kalbu tua-kehitaman. Tebal Formasi lebih kurang 2000 m. Umur Formasi Pamaluan adalah oligosen akhir–miosen awal dengan lingkungan pengendapan neritik.

2. Formasi Bebuluh (Tmb)

Formasi ini diambil dari nama Sungai Bebuluh yaitu sungai kecil yang berada 45 km arah tenggara dari Balikpapan dengan litologi penyusunnya terdiri dari batugamping terumbu dengan sisipan batugamping pasir dan serpih warna kelabu, padat mengandung foraminifera besar, berbutir sedang, menghablur, terkekar tak beraturan. Serpih, kelabu kecoklatan berselingan dengan batupasir halus, kelabu tua kehitaman. Lingkungan pengendapan laut dangkal dengan ketebalan sekitar 300 m. Formasi Bebuluh tertindih selaras oleh Formasi Pulau Balang.

3. Formasi Pulau Balang (Tmpb)

Formasi ini diendapkan secara selaras diatas Formasi Bebuluh sedangkan di bagian atasnya berhubungan menjemari dengan Formasi Balikpapan. Litologi formasi ini terdiri dari *greywacke*, batupasir kuarsa, batugamping, tufa pasir dan batubara. Batupasir kuarsa berwarna kelabu kemerahan, tufa dan gampingan setempat, tebal lapisan antara 15-60 cm. Batugamping berwarna coklat muda kekuningan, mengandung foraminifera besar. Batugamping ini terdapat sebagai sisipan atau lensa dalam batupasir kuarsa. Batulempung berwarna kelabu kehitaman, tebal lapisan 1-2 meter berselingan dengan batubara.

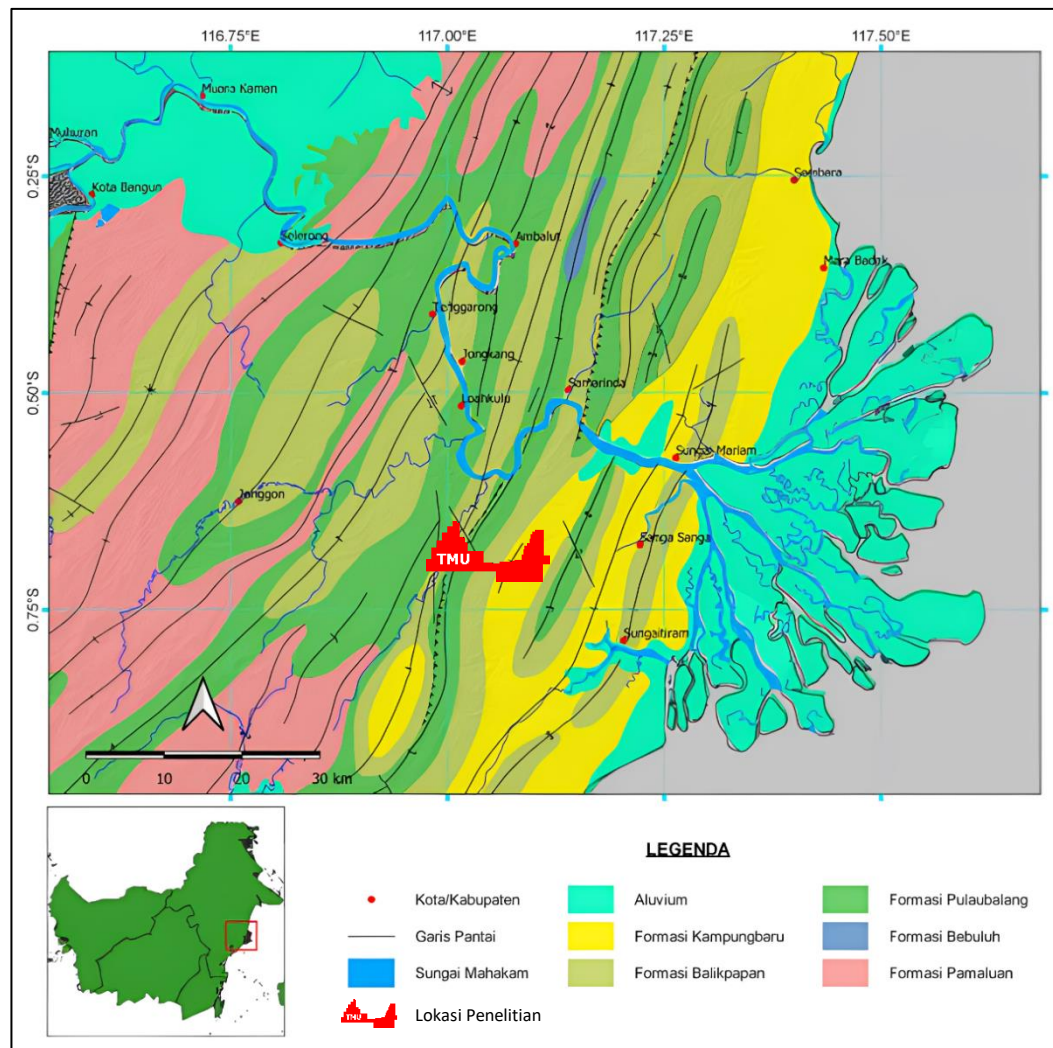
4. Formasi Balikpapan (Tmbp)

Formasi ini terdiri dari litologi berupa batupasir kuarsa dengan sisipan batu lempung, batu lanau, serpih, batu gamping dan batubara dengan tebal 5-10 cm. Batupasir gampingan, coklat, berstruktur sedimen lapisan bersusun dan silang siur, tebal lapisan 20-40 cm, mengandung foram kecil, disisipi lapisan tipis karbon. Lempung kelabu kehitaman, setempat mengandung lensa-lensa batupasir gampingan. Lensa gampingan berlapis tipis, serpih kecoklatan, berlapis tipis. Batugamping pasiran mengandung foraminifera besar, moluska menunjukkan umur miosen akhir bagian bawah-miosen tengah bagian atas. Tebal formasi ini kurang lebih 1000 - 1500 m.

5. Formasi Kampung Baru (Tpkb)

Formasi ini terdiri dari litologi berupa batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, batulanau, serpih dan batubara, pada umumnya lunak, mudah hancur. Batupasir kuarsa, putih, setempat kemerahan atau kekuningan, tidak berlapis, mudah hancur, mengandung lapisan tipis oksida besi atau konkresi, tufaan atau lanauan dan sisipan batupasir konglomeratan. Lingkungan pengendapan delta-laut dangkal, tebal lebih dari 500 m. Formasi ini menindih selaras terhadap Formasi Balikpapan.

6. Endapan Aluvium (Qa), terdiri dari kerikil, pasir dan lumpur terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Kampung Baru pada lingkungan sungai, rawa, delta dan pantai. Peta geologi lembar samarinda, kalimantan timur dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



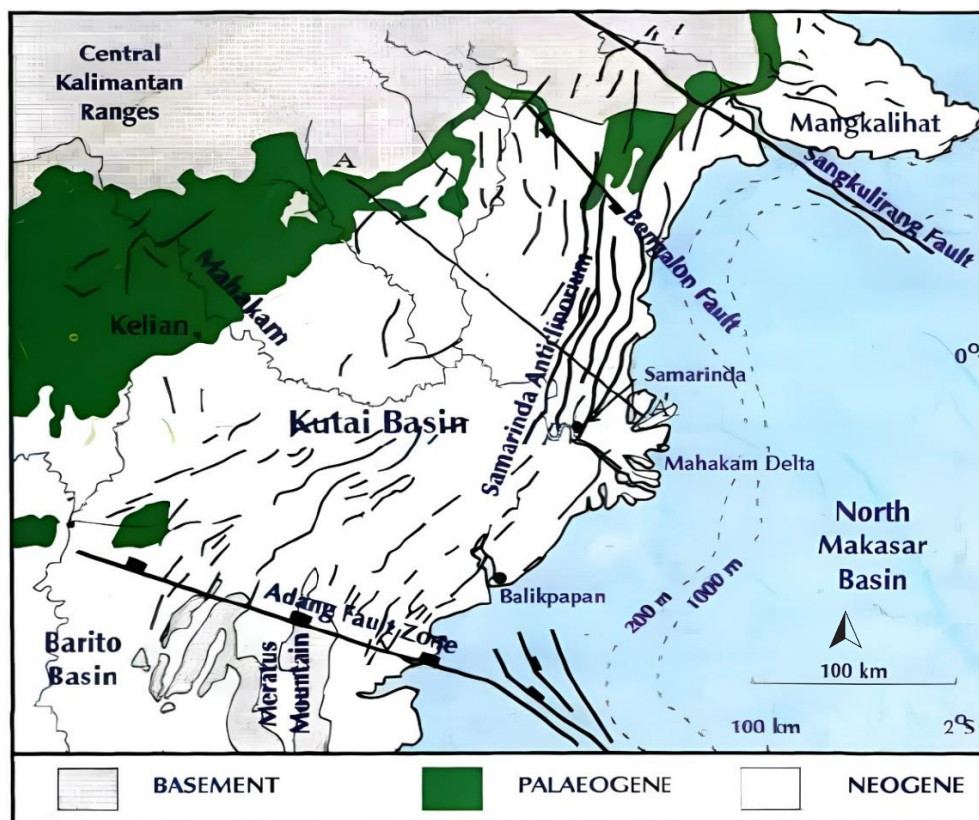
Gambar 3 Peta geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur
(Modifikasi Supriatna, *et al.*, 1995)

2.2.3 Struktur Geologi Regional

Cekungan Kutai didominasi oleh serangkaian lipatan antiklin dan sinklin berarah utara-timur laut hingga selatan-barat daya, membentuk Antiklinorium Samarinda di bagian timur cekungan, sementara deformasi di wilayah lepas pantai relatif lebih lemah. Perkembangan struktur ini sejak Miosen Tengah hingga sekarang terlihat dari penipisan lapisan sedimen di atasnya, sedangkan bagian barat cekungan mengalami pengangkatan dengan keberadaan beberapa struktur besar. Asal-usul struktur di Cekungan Kutai masih diperdebatkan, dengan beberapa mekanisme yang diusulkan, antara lain diapirisme vertikal akibat pergerakan material ringan dari dalam bumi, pergeseran gravitasi yang dipicu oleh kemiringan lapisan sedimen, inversi struktur akibat geseran regional yang mengangkat kembali

struktur lama, pelipatan lepas (*detachment folds*) yang terbentuk di atas lapisan bergerak, serta sistem sesar pertumbuhan delta yang mengalami inversi akibat adanya gaya tektonik (Satyana, *et al.*, 1999). Pengamatan lapangan data geofisika dan pemodelan komputer telah menjelaskan evolusi salah satu lipatan hasil inversi ini. Struktur retakan dan kumpulan urat yang berarah barat laut–tenggara (NW–SE) serta timur laut–barat daya (NE–SW) dalam batuan dasar berumur Kapur telah mengalami reaktivasi selama kala Tersier (Cloke, *et al.*, 1999).

Struktur geologi yang paling jelas terlihat pada Cekungan Kutai berupa adanya pegunungan lipatan memanjang yang disebut sebagai Sabuk Lipatan Mahakam. Sabuk lipatan ini terdapat pada area darat dengan sangat intensif dan berkurang intensitasnya ke arah timur. Antiklin yang terdapat pada cekungan ini umumnya asimetris, panjang, dan dibatasi oleh patahan (*thrust fault-bounded anticline*). Antiklin ini memiliki orientasi utara-timur laut-selatan-barat daya dengan lebar sekitar 2-5 km dan panjang sekitar 50 km. Antiklin-antiklin ini dipisahkan oleh adanya sinklin yang luas dan terbuka (McClay, *et al.*, 2000). Struktur geologi cekungan Kutai ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Struktur geologi cekungan kutai (Allen & Chambers, 1998)

2.3 Kondisi Geologi

Berdasarkan proses sedimentasi dan pengaruh tektonik, karakteristik geologi tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama: kelompok geologi sederhana, kelompok geologi moderat, dan kelompok geologi kompleks. Ketiga tingkat kompleksitas geologi ini dapat terjadi di daerah tertentu. Uraian tentang batasan umum untuk tiap-tiap kelompok tersebut beserta tipe lokalitasnya adalah sebagai berikut (SNI 13-6011, 1999).

1. Kelompok geologi sederhana

Endapan batubara dalam kelompok ini umumnya tidak dipengaruhi oleh aktivitas tektonik, seperti sesar, lipatan, dan intrusi. Lapisan batubara yang terbentuk pada umumnya relatif landai, menerus secara lateral sampai ribuan meter, dan hampir tidak mempunyai percabangan. Ketebalan lapisan batubara secara lateral dan kualitasnya tidak memperlihatkan variasi yang berarti. Contoh jenis kelompok ini antara lain, di lapangan Bangko Selatan dan Muara Tiga Besar (Sumatera Selatan), Senakin Barat (Kalimantan Selatan), dan Cerenti (Riau).

2. Kelompok geologi moderat

Batubara dalam kelompok ini diendapkan dalam kondisi sedimentasi yang lebih bervariasi dan sampai tingkat tertentu telah mengalami perubahan pasca pengendapan dan tektonik. Sesar dan lipatan tidak banyak, begitu pula pergeseran dan perlipatan yang diakibatkannya relatif sedang. Kelompok ini dicirikan pula oleh kemiringan lapisan dan variasi ketebalan lateral yang sedang serta berkembangnya percabangan lapisan batubara, namun sebarannya masih dapat diikuti sampai ratusan meter. Kualitas batubara secara langsung berkaitan dengan tingkat perubahan yang terjadi baik pada saat proses sedimentasi berlangsung maupun pada pasca pengendapan. Pada beberapa tempat intrusi batuan beku mempengaruhi struktur lapisan dan kualitas batubaranya. Endapan batubara kelompok ini terdapat antara lain di daerah Senakin, Formasi Tanjung (Kalimantan Selatan), Loa Janan-Loa Kulu, Petangis (Kalimantan Timur), Suban dan Air Laya (Sumatera Selatan), serta Gunung Batu Besar (Kalimantan Selatan).

3. Kelompok geologi kompleks

Batubara pada kelompok ini umumnya diendapkan dalam sistem sedimentasi yang kompleks atau telah mengalami deformasi tektonik yang ekstensif sehingga mengakibatkan terbentuknya lapisan batubara dengan ketebalan yang beragam. Kualitas lapisan batubaranya banyak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan yang terjadi pada saat proses sedimentasi berlangsung atau pasca pengendapan seperti pembelahan atau kerusakan lapisan (*wash out*). Pergeseran, perlipatan dan pembalikan (*overturned*) yang ditimbulkan oleh aktivitas tektonik, umum dijumpai dan sifatnya rapat sehingga menjadikan lapisan batubara sukar dikorelasikan. Perlipatan yang kuat juga mengakibatkan kemiringan lapisan yang terjal. Secara lateral, sebaran lapisan batubaranya terbatas dan hanya dapat diikuti sampai puluhan meter. Endapan batubara dari kelompok ini, antara lain, ditemukan di Ambakiang, Formasi Warukin, Ninian, Belahing dan Upau (Kalimantan Selatan), Sawahluwung (Sawahlunto Sumatera Barat), daerah Air Kotok (Bengkulu), Bojongmanik (Jawa Barat), serta daerah batubara yang mengalami ubahan intrusi batuan beku di Bunian Utara (Sumatera Selatan).

2.4 Geometri Lapisan Batubara

Geometri lapisan batubara merupakan aspek dimensi atau ukuran dari suatu lapisan batubara yang meliputi beberapa parameter seperti ketebalan, kemiringan, kemenerusan, keteraturan, sebaran, bentuk, kondisi *roof* dan *floor*, *cleat*, dan pelapukan (Kuncoro, 2000). Kondisi lapisan batubara di lapangan biasanya seringkali dijumpai dalam urutan yang tidak teratur, pelamparan yang terbatas, sebaran tidak teratur, tidak menerus, menebal, menipis, terpisah, dan melengkung dengan geometri yang bervariasi. Kondisi geometri lapisan batubara yang demikian, dapat dipahami jika hubungannya dengan lapisan batuan yang berasosiasi (lingkungan pengendapan) diperhitungkan bersamaan dengan proses tektonik yang mempengaruhinya (Horne, *et al.*, 1978). Aspek geometri lapisan batubara menjadi penunjang pada tahap perhitungan sumberdaya batubara maka perlu diketahui mengenai parameter-parameter dari geometri batubara. Geometri batubara terdiri dari beberapa parameter, yaitu (Kuncoro, 2000):

1. Ketebalan

Ketebalan lapisan batubara adalah unsur penting yang langsung berhubungan dengan perhitungan sumberdaya/cadangan, perencanaan produksi, sistem penambangan dan umur tambang. Kecenderungan arah perubahan ketebalan, penipisan, pembajian dan splitting terjadi karena dipengaruhi oleh faktor-faktor geologi. Faktor-faktor yang terjadi selama proses pengendapan, antara lain akibat perbedaan kecepatan akumulasi batubara, perbedaan morfologi dasar cekungan, hadirnya *channel*, sesar dan proses *karst* atau terjadi setelah pengendapan, antara lain karena sesar atau erosi permukaan. Ketebalan lapisan batubara tersebut termasuk *parting* (*gross coal thickness*), tebal lapisan batubara tidak termasuk parting (*net coal thickness*), atau tebal lapisan batubara yang dapat ditambang (*mineable thickness*). Menurut (Jeremic, 1985), parameter ketebalan lapisan batubara terbagi menjadi sangat tipis apabila tebalnya kurang dari 0,5 m, tipis apabila tebalnya 0,5-1,5 m, sedang apabila tebalnya 1,5-3,5 m, tebal apabila tebalnya 3,5-25 m, dan sangat tebal apabila >25 m.

2. Kemiringan

Besarnya kemiringan lapisan batubara berpengaruh terhadap perhitungan cadangan ekonomis, nisbah pengupasan dan sistem penambangan. Pola kemiringan suatu perlapisan batubara dapat berbentuk pola linier, pola lengkung, atau pola luasan (*area*) dan pola kemiringan lapisan batubara tersebut dapat bersifat menerus dan sama besarnya sepanjang *cross strike* maupun *on strike* atau hanya bersifat setempat.

3. Pola sebaran lapisan batubara

Pola sebaran lapisan batubara akan berpengaruh pada penentuan batas perhitungan sumberdaya/cadangan dan pembagian blok penambangan. Oleh karena itu, faktor pengendalinya harus diketahui, yaitu apakah dikendalikan oleh struktur lipatan (antiklin, sinklin, menunjam), homoklin, struktur sesar dengan pola tertentu atau dengan pensesaran kuat. Pola sebaran dapat berupa *seam-seam* lapisan batubara yang membentuk pola tertentu sehingga menghasilkan bentukan struktur seperti sinklin dan antiklin yang memiliki sayap lipatan pada kedua sisinya.

4. Kemenerusan lapisan batubara

Parameter kemenerusan lapisan batubara yang perlu diketahui adalah apakah kemenerusannya dibatasi oleh proses pengendapan, *split*, sesar, intrusi, atau erosi. Pemahaman yang baik tentang *split* akan sangat membantu pada kegiatan eksplorasi untuk menentukan sebaran lapisan batubara dan penentuan perhitungan sumberdaya/cadangan. Menurut (Jeremic, 1985), parameter geologi kemenerusan lapisan batubara dapat diikuti dalam jarak ratusan meter, ribuan meter, dan menerus sampai lebih dari puluhan kilometer.

5. Keteraturan lapisan batubara

Keteraturan lapisan batubara ditentukan oleh pola kedudukan lapisan batubara (jurus dan kemiringan), artinya apakah pola lapisan batubara di permukaan (*cropline*) menunjukkan pola teratur (garis menerus yang lurus, melengkung/meliuk pada elevasi yang hampir sama) atau membentuk pola tidak teratur, garis yang tidak menerus (*washout*), bercabang (*splitting*), melengkung/meliuk pada elevasi yang tidak sama dan apakah bidang lapisan batubara membentuk bidang permukaan yang hampir rata, bergelombang lemah, atau bergelombang.

6. Bentuk lapisan batubara

Bentuk lapisan batubara dikontrol oleh bentuk cekungan sedimentasi, proses sedimentasi, proses geologi selama dan sesudah proses pembatubaraan. Bentuk lapisan batubara sangat menentukan dalam menghitung sumberdaya dan cadangan batubara serta merencanakan cara penambangannya. Bentuk lapisan batubara adalah perbandingan antara tebal lapisan batubara dan kemenerusannya, apakah termasuk kategori bentuk melembar, membaji, melensa, atau bongkah. Menurut (Sukandarrumidi, 1995), bentuk perlapisan batubara terdiri dari bentuk *horseback*, *pinch*, *clay vein*, *burried hill*, *fault*, dan *fold*.

2.5 Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Batubara

Di Indonesia klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara dirujuk dari SNI 13-6011, 1999 yang telah diperbaharui dengan SNI 5015:2011 dan direvisi pada 2019

menjadi SNI 5015:2019. Pengertian sumberdaya dan cadangan pada (SNI 5015, 2019) dinyatakan sebagai berikut:

Sumberdaya batubara (*coal resources*) adalah bagian dari 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. Sumberdaya batubara dibagi sesuai dengan tingkat kepercayaan geologi ke dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur. Dalam (SNI 5015, 2019), klasifikasi sumberdaya adalah sebagai berikut:

1. Sumberdaya batubara tereka (*inferred coal resource*)

Sumberdaya batubara tereka adalah bagian dari 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

2. Sumberdaya batubara tertunjuk (*indicated coal resource*)

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

3. Sumberdaya batubara terukur (*measured coal resource*)

Sumberdaya batubara terukur 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 untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya.

Sedangkan cadangan batubara (*coal reserves*) adalah bagian dari sumberdaya 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 terbukti. Cadangan terkira memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah dibandingkan cadangan terbukti. Cadangan berdasarkan (SNI 5015, 2019) dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Cadangan batubara terkira (*probable coal reserve*) adalah bagian dari sumberdaya 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.
2. Cadangan batubara terbukti (*proved 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.

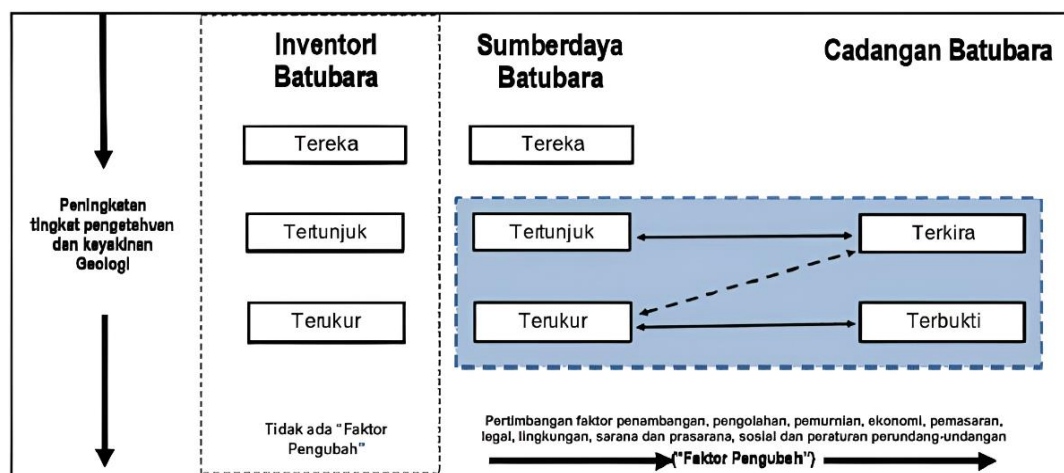
Berdasarkan tingkat keyakinan geologi, sumberdaya terukur harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumberdaya tertunjuk, begitu pula sumberdaya tertunjuk harus mempunyai tingkat keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumberdaya terka. Sumberdaya terukur

dan tertunjuk secara berturut-turut dapat dikonversi menjadi cadangan terkira dan terbukti setelah memenuhi kriteria layak (Gambar 5). Tingkat keyakinan geologi tersebut secara kuantitatif dicerminkan oleh jarak titik pengamatan dan kompleksitas kondisi geologi dan kelas sumberdayanya. Sedangkan untuk persyaratan yang berhubungan dengan aspek ekonomi adalah persyaratan batas minimal ketebalan batubara yang dapat ditambang.

Tabel 1 Jarak titik pengamatan berdasarkan kondisi geologi

Kondisi Geologi	Kriteria	Sumberdaya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik pengamatan (m)	$1000 < x \leq 1500$	$500 < x \leq 1000$	$x \leq 500$
Moderat	Jarak titik pengamatan (m)	$500 < x \leq 1000$	$250 < x \leq 500$	$x \leq 250$
Kompleks	Jarak titik pengamatan (m)	$250 < x \leq 500$	$100 < x \leq 250$	$x \leq 100$

Aspek kelayakan merupakan faktor pengubah sehingga sumberdaya batubara terukur dapat dikonversi ke cadangan batubara terkira atau terbukti yang meliputi aspek teknis penambangan, pengolahan, ekonomi, pemasaran, legalitas, lingkungan, sarana dan prasarana, sosial, serta peraturan perundang-undangan. Hubungan antara inventori, sumberdaya, dan cadangan batubara dapat dilihat pada Gambar 5.

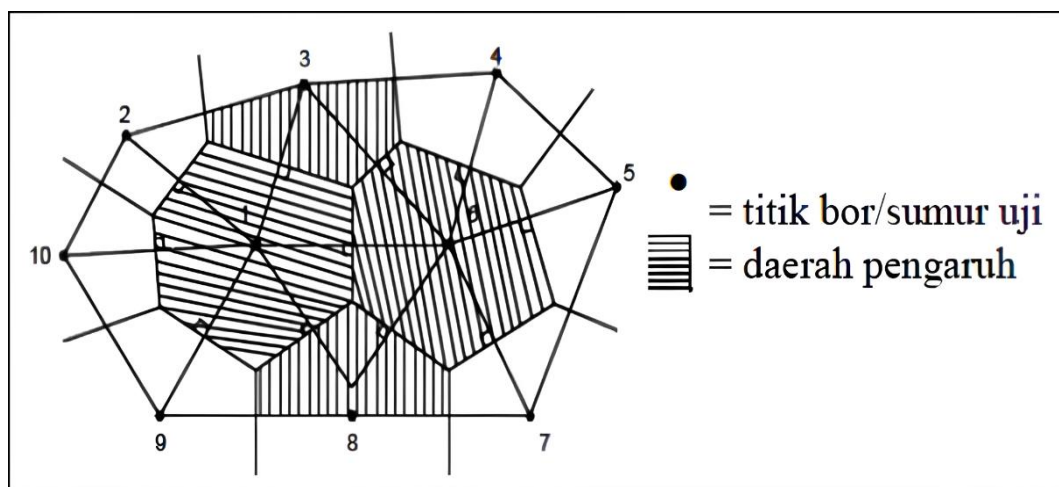


Gambar 5 Hubungan antara inventori, sumberdaya, dan cadangan batubara (SNI 5015, 2019)

2.6 Estimasi Sumberdaya Batubara

Estimasi sumberdaya batubara adalah cara untuk menentukan jumlah potensi batubara menggunakan suatu metode yang sesuai dengan geologi endapan batubara. Perhitungan sumberdaya batubara di Indonesia sendiri sudah memiliki acuan terhadap metode perhitungan sumberdaya batubara yaitu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 5015, 2019 yang dibuat oleh Badan Standardisasi Nasional. Metode perhitungan besarnya sumberdaya batubara berdasarkan SNI menggunakan metode poligon prinsipnya adalah sama dengan metode *circular* USGS 1983. Perbedaannya hanya terletak pada radius dari jarak titik informasi batubara yang mengacu pada kondisi geologi daerah tersebut.

Estimasi sumberdaya dengan metode poligon ini umumnya diterapkan pada endapan-endapan yang relatif homogen dan mempunyai geometri yang sederhana. Metode poligon adalah suatu perhitungan dengan konsep dasar yang menyatakan bahwa karakteristik endapan pada suatu luasan di dalam poligon ditaksir dengan nilai conto yang berada di tengah-tengah poligon sehingga metode ini sering disebut dengan poligon daerah pengaruh (*area of influence*). Daerah pengaruh dibuat dengan membagi jarak dua titik conto dengan satu garis sumbu yang dapat dilihat pada Gambar 6 (Hartman, 1992). Jarak titik bor di dalam poligon dengan batas poligon sama dengan jarak batas poligon ke titik bor terdekat. Di dalam poligon nilai kadar diasumsikan konstan dengan nilai kadar pada titik bor di dalam poligon (Hustrulid & Kuchta, 1995).



Gambar 6 Sketsa perhitungan metode poligon (Hartman, 1992)

Pemakaian metode poligon untuk perhitungan sumberdaya batubara dilakukan sebagai berikut (Habibie & Prabowo, 2020).

1. Untuk setiap lubang bor ditentukan suatu batas daerah pengaruh yang dibentuk oleh garis-garis berat antara titik terdekat disekitarnya.
2. Garis-garis tersebut diekstensikan sejauh setengah jarak dari titik-titik di sekitarnya yang membentuk suatu daerah pengaruh.
3. Masing-masing daerah/blok yang diperlukan sebagai satu poligon yang mempunyai kadar dan ketebalan yang konstan yaitu sama dengan kadar dan ketebalan titik bor di dalam poligon tersebut.
4. Menentukan luas daerah/blok (m^2) yang akan dihitung dengan sumberdaya batubara.
5. Kemudian mencari volume sumberdaya batubara (m^3) dengan cara mengalikan luas daerah (m^2) dengan ketebalan endapan batubara (m) pada daerah/blok tersebut.
6. Kemudian didapat tonase sumberdaya endapan batubara (ton) dengan cara mengalikan volume batubara (m^3) dengan nilai densitas batubara.
7. Demikian juga perhitungan sumberdaya endapan batubara pada blok-blok yang lainnya, sehingga didapatkan cadangan endapan batubara pada suatu daerah.

Perhitungan tonase batubara dengan metode poligon dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Hartman, 1992):

$$T = A \times t \times D \quad (1)$$

Dimana,

T = Jumlah sumberdaya (ton)

A = Luas daerah pengaruh (m^2)

t = Tebal rata-rata *seam* batubara (m)

D = Densitas *seam* batubara (ton/m^3)

Kemiringan lapisan batubara juga memberikan pengaruh dalam perhitungan sumberdaya batubara. Bila lapisan batubara memiliki kemiringan yang berbeda-beda, maka perhitungan dilakukan secara berbeda. Untuk batubara dengan kemiringan lapisan lebih besar dari 30° caranya adalah mencari harga proyeksi

radius daerah pengaruh tersebut ke permukaan terlebih dahulu. Perhitungan kemiringan dilakukan secara terpisah seperti uraian berikut ini:

1. Kemiringan 0° - 10°

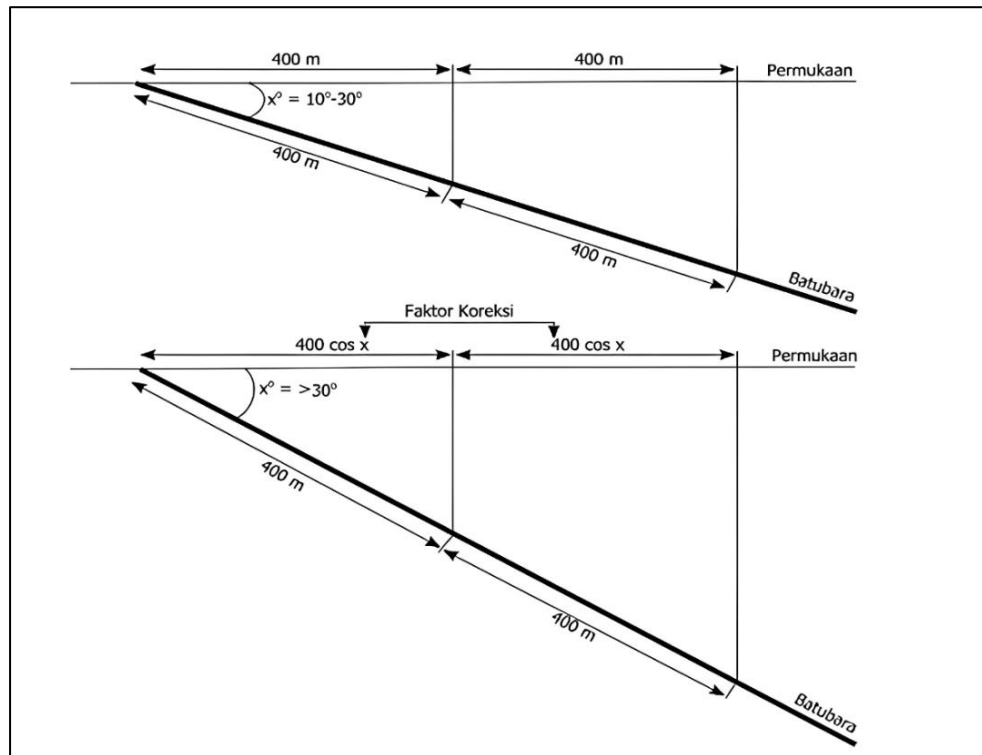
Perhitungan tonase dilakukan langsung dengan menggunakan rumus tonase yaitu luas area batubara x tebal batubara x densitas batubara.

2. Kemiringan 10° - 30°

Perhitungan tonase dilakukan dengan membagi nilai luas area batubara dengan nilai cosinus kemiringan lapisan batubara.

3. Kemiringan $>30^\circ$

Perhitungan tonase dilakukan dengan mengalikan nilai luas area batubara dengan nilai cosinus kemiringan lapisan batubara.



Gambar 7 Kriteria kemiringan batubara menurut metode *circular* (Wood, et al., 1983)