

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Perusahaan

PT Indonesia Batu Prima Energi telah beroperasi sejak tahun 2013, dengan izin usaha yang berlaku selama 10 tahun (dimulai pada tanggal 30 Mei 2013) yang tersedia untuk ekstensi. Konsesi batubara seluas 15.000 ha yang terletak di Kecamatan Sungai Lilin, Kabupaten Musi Banyuasin, 120 km barat laut Palembang. Perseroan telah memulai produksi batubara pada tahun 2022, menargetkan 500.000 MT batubara pada akhir tahun.

Penambangan open *pit*, dilakukan dengan alat berat. Batubara akan diangkut sejauh 5 km melalui jalan angkut kami dari lokasi tambang ke dermaga milik perusahaan yang meliputi; movable screen, jembatan timbang, stockyard, alat muat tongkang beserta fasilitas penunjang lainnya. Jarak berlayar tongkang 100 km; transhipment dilakukan di pelabuhan Tanjung Buyut, Palembang.



Gambar 1. Lokasi Kesampaian PT Roda Teknik



Gambar 2. Lokasi Penelitian Pada IUP Penambangan *Site* PT Indonesia Batu Prima Energi Area Kerja PT Roda Tehnik

2.2 Geologi Regional

Kondisi geologi daerah Sungai Lilin, yang terletak di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan, berada dalam wilayah Cekungan Sumatera Selatan. Secara geologi, daerah ini memiliki beberapa karakteristik utama, antara lain:

1. Stratigrafi:

Daerah Sungai Lilin termasuk dalam stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan, yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Timur. Cekungan ini memiliki lapisan batuan yang beragam, mulai dari batuan sedimen yang lebih tua (seperti batu pasir dan batupasir konglomerat) hingga batuan yang lebih muda yang terbentuk dari proses sedimentasi di masa geologi yang lebih muda.

2. Kompleksitas Geologi:

Daerah ini memiliki struktur geologi yang kompleks dengan adanya lapisan-lapisan batuan yang terbentuk melalui proses sedimentasi, tektonik, dan erosi yang berlangsung selama jutaan tahun. Terdapat berbagai formasi

geologi yang mengandung endapan batu bara, yang menjadi potensi utama tambang batu bara di kawasan ini.

3. Tinggian Asahan dan Pegunungan Tigapuluh:

Di bagian barat laut, daerah ini dipisahkan oleh Tinggian Asahan yang membentuk batas antara Cekungan Sumatera Selatan dengan Cekungan Sumatera Tengah. Wilayah ini juga terpengaruh oleh Pegunungan Tigapuluh, yang memiliki struktur tektonik yang mempengaruhi formasi geologi di daerah tersebut.

4. Batuan Pengendap:

Daerah Sungai Lilin dikenal dengan keberadaan batuan pengendap yang mengandung batubara, seperti Formasi Muara Enim yang merupakan salah satu formasi geologi yang banyak ditemukan di Sumatera Selatan. Formasi ini memiliki endapan batu bara yang cukup tebal dan menjadi sumber utama batubara di kawasan ini.

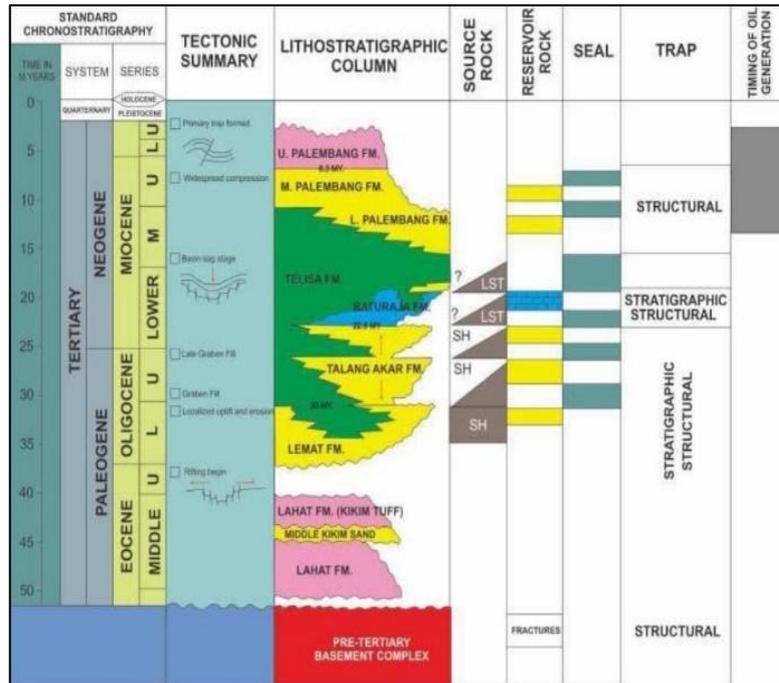
5. Tektonik Daerah:

Secara umum, daerah Sungai Lilin mengalami pengaruh dari aktivitas tektonik yang menghasilkan lipatan dan patahan di beberapa bagian.

6. Kondisi Topografi:

Topografi daerah Sungai Lilin umumnya datar hingga bergelombang, dengan ketinggian bervariasi dari 50 hingga 200 meter di atas permukaan

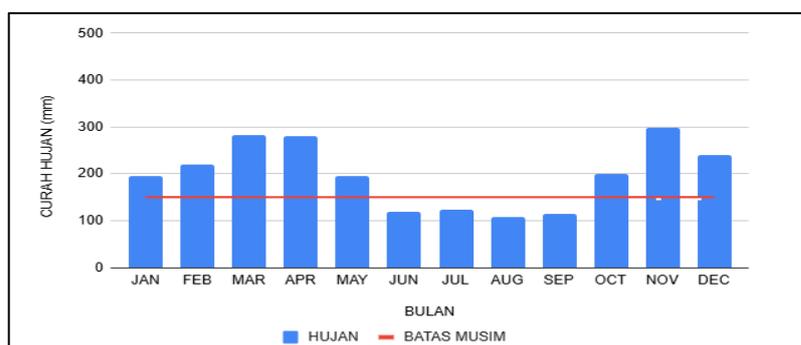
Menurut De Coster (1974) stratigrafi regional di Cekungan Sumatera Selatan menurut para peneliti terdahulu dibagi atas beberapa formasi dan satuan dari tua sampai muda dapat pada gambar berikut:



Gambar 3. Tertiary Regional Column of South Sumatra Basin

2.3 Iklim dan Cuaca

Daerah Musi banyuasin Sumatera Selatan Khususnya pada PT Roda Tehnik ite Indonesia Batu Prima Energi memiliki iklim tropis dengan kelembapan udara dan temperatur yang tinggi. Berdasarkan pengolahan data Stasiun Klimatologi Sumatera Selatan, temperatur udara rata-rata pada bulan Juli - September 2024 adalah 29.2°C dan curah hujan pada bulan Juli - September kategori menengah (100 – 250 mm).



Gambar 4. Prediksi Curah Hujan Acuan 5 tahun

2.4 Metode Penambangan Batubara

Metode penambangan merujuk pada teknik yang digunakan untuk mengekstraksi bahan tambang dari dalam bumi. Dalam konteks penambangan batubara, dua metode utama yang digunakan adalah penambangan terbuka (*open-pit mining*) dan penambangan bawah tanah (*underground mining*).

Metode *strip mine* merupakan penambangan yang dilakukan pada endapan batubara yang memiliki lapisan tebal dan dilakukan dengan menggunakan beberapa jenjang (*bench*). Metode ini dilakukan dengan cara mengupas terlebih dahulu lapisan material penutup batubara kemudian dilanjutkan dengan pengambilan batubaranya. Tipe penambangan terbuka yang diterapkan pada endapan batubara yang lapisannya datar dekat permukaan tanah.

2.5 Desain Tambang

Desain tambang adalah perencanaan rinci yang mencakup seluruh aspek operasional dalam proses penambangan, mulai dari tahap eksplorasi hingga pasca tambang. Desain ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengambilan sumber daya dengan efisien dan aman, baik dari segi biaya, waktu, maupun dampak lingkungan. Adapun langkah-langkah dalam desain tambang adalah sebagai berikut:

1. Studi Geologi:

Mengidentifikasi sifat dan posisi cadangan batu bara di bawah permukaan.

2. Perencanaan *Pit*:

Merancang bentuk dan kedalaman *pit* berdasarkan kedalaman batu bara dan karakteristik geologi.

3. Pemilihan Metode Penambangan:

Menentukan metode yang sesuai dengan kondisi geologi, seperti penambangan terbuka atau bawah tanah.

4. Desain Infrastruktur:

Mencakup perencanaan jalan, fasilitas penyimpanan batu bara, dan sistem transportasi.

5. Manajemen Sumber Daya Alam:

Mengatur cadangan batu bara yang dapat dieksploitasi dengan mempertimbangkan aspek lingkungan dan sosial.

Adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan desain tambang adalah:

1. Keamanan dan Kesehatan Kerja:

Menjamin keselamatan para pekerja tambang melalui desain yang memperhitungkan faktor-faktor seperti ventilasi, pembuangan gas berbahaya, dan pencegahan longsor.

2. Dampak Lingkungan:

Desain tambang harus mempertimbangkan pengelolaan limbah, konservasi air, dan upaya restorasi lahan setelah penambangan selesai.

3. Efisiensi Biaya:

Mengoptimalkan SR untuk meminimalkan biaya pengupasan dan meningkatkan keuntungan.

2.5.1 Geometri Tambang

Geometri Tambang merupakan cabang ilmu geoteknik yang berkaitan dengan bentuk dan struktur tambang yang dibangun berdasarkan sifat fisik dan geologi deposit mineral atau batu bara. Dalam konteks ini, geometri tambang membantu dalam menentukan bentuk cekungan (*pit*), kemiringan lereng (*pit slope*), kedalaman tambang, dan orientasi deposit yang akan ditambang.

Perencanaan geometri tambang bertujuan untuk mengoptimalkan volume penggalian, mengurangi biaya operasional, meningkatkan keselamatan kerja, dan meminimalkan dampak lingkungan. Pada penambangan terbuka, desain geometri tambang difokuskan pada pembuatan cekungan dengan kemiringan yang aman. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam desain geometri untuk tambang terbuka antara lain:

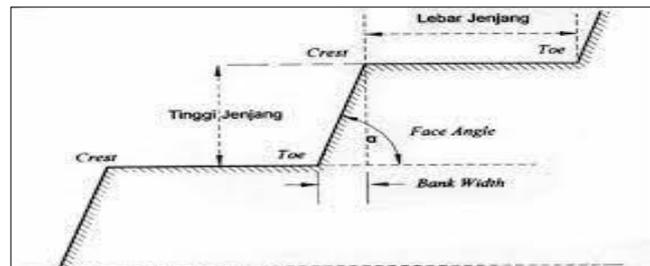
1. Kemiringan Sisi (*Pit Slope*): Kemiringan sisi *pit* yang stabil ditentukan oleh sifat geoteknik tanah dan batuan di sekitar deposit mineral. Kemiringan yang terlalu curam dapat menyebabkan longsor, sementara kemiringan yang terlalu landai akan meningkatkan volume material yang perlu dipindahkan.

2. Cekungan (*Pit Design*): Cekungan tambang terbuka dirancang dengan bentuk piramida terbalik atau trapezoidal untuk mengoptimalkan penggunaan ruang dan volume penggalian.
3. *Safety Bench*: Desain tambang juga mencakup pembuatan *bench* (teras) di sisi *pit* yang membantu mencegah longsor.

Parameter yang digunakan dalam penentuan geometri jenjang adalah dimensi alat angkut, jangkauan gali alat muat, kekerasan batuan dan struktur geologi. Tinggi jenjang, sudut lereng jenjang tunggal, serta lebar dari jenjang penangkap merupakan bagian dari geometri jenjang. Alat muat yang digunakan harus mampu mencapai pucuk atau bagian atas jenjang. Kekerasan batuan dan struktur geologi akan mempengaruhi kekuatan batuan pembentuk lereng (Hustrulid & Kuchta, 1998).

1. *Crest* dan *Toe*

Crest dan *toe* merupakan bagian dari jenjang yang berbentuk tangga atau undakan/punden berundak. *Crest* adalah istilah untuk tebing atas atau kepala tebing. *Toe* adalah istilah untuk kaki tebing.



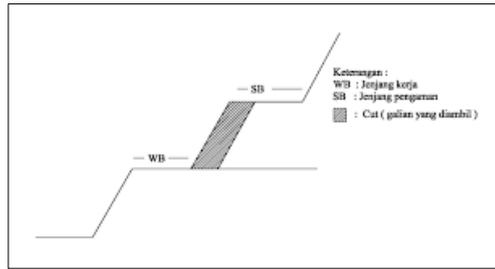
Gambar 5. *Crest* dan *Toe*

2. Lebar jenjang

Lebar jenjang (*bench width*) adalah jarak datar dari ujung lantai jenjang hingga belakang lantai jenjang. Jenis dan dimensi peralatan, posisi kerja alat mekanis, lebar dari tumpukan material hasil pembongkaran berpengaruh pada lebar jenjang minimum.

3. Jenjang kerja

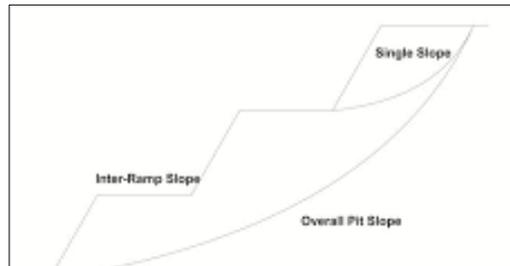
Jenjang kerja (*working bench*) adalah jenjang tempat berlangsungnya penambangan. Bagian yang sedang digali pada jenjang kerja disebut *cut*. Setelah bagian *cut* telah ditambang maka akan terbentuk *safety bench*.



Gambar 6. Jenjang Kerja

4. Sudut kemiringan lereng

Lereng tunggal (*single slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh *crest* dan *toe*. Lereng keseluruhan (*overall slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh keseluruhan jenjang. Kemiringan *overall slope* diukur dari crest paling atas sampai dengan toe paling akhir dari *front* penambangan.



Gambar 7. Perbandingan Jenis Kemiringan (*Slopes*)

2.5.2 Perencanaan Desain Penambangan

Perancangan tambang merupakan bagian dari perencanaan tambang dan berkaitan dengan masalah-masalah geometrik. Perancangan tambang mencakup perancangan batas akhir penambangan, tahapan penambangan, urutan penambangan tahunan atau bulanan, penjadwalan produksi, dan perancangan waste dump.

Perancangan tambang dilakukan dengan membuat tahapan kegiatan secara garis besar yang meliputi (Hustrulid, 2013):

1. Penentuan batas penambangan (*pit limit*), perancangan *pit* merupakan proses pemodelan bentuk akhir tambang dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan penyebaran endapan batubara sampai dengan *pit limit*. Batas akhir penambangan (*pit limit*) merupakan batas wilayah layak tambang dari cadangan batubara. *Pit limit* penambangan menentukan seberapa besar cadangan batubara yang akan ditambang. Penentuan batas akhir *dari pit* penambangan belum memperhitungkan waktu dan biaya.

2. Perancangan *sequence* penambangan batubara merupakan tahapan penting dalam suatu perancangan geometri penambangan. Rancangan *sequence* penambangan ini membagi rancangan *pit* menjadi unit-unit perencanaan yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola. Hal ini akan membuat masalah perancangan tambang tiga dimensi yang kompleks menjadi lebih sederhana.
3. Penjadwalan produksi rancangan *sequence* penambangan batubara yang telah dirancang, selanjutnya diestimasi berdasarkan urutan waktu dan target produksi. Penjadwalan produksi akan menyajikan jumlah tanah penutup dan batubara yang akan ditambang berdasarkan periode tertentu.
4. Pemilihan alat berdasarkan peta rencana penambangan dan penimbunan lapisan penutup, dapat dibuat profil jalan angkut untuk setiap periode waktu. Dengan mengukur profil jalan ini, kebutuhan alat angkut dan alat muatnya dapat dihitung untuk setiap periode (setiap tahun).

Definisi tahapan penambangan (*sequence*) merupakan bentuk-bentuk penambangan (*mineable geometris*) yang menunjukkan bagaimana suatu *pit* akan ditambang dari titik awal masuk hingga bentuk akhir *pit*. Tujuan dari *sequence* adalah untuk menyederhanakan seluruh volume yang ada dalam *overall pit* ke dalam unit-unit *pit* penambangan yang lebih kecil. Dengan demikian, masalah perancangan tambang tiga dimensi yang amat kompleks ini dapat disederhanakan (Hustrulid, 2013).

Tahap awal perancangan bertujuan menghubungkan geometri penambangan dengan geometri seam batubara, serta mempelajari distribusi seam dan topografi untuk menentukan strategi pengembangan *pit* yang efisien. Rancangan *sequence* penambangan yang baik penting untuk akses area kerja dan efisiensi peralatan. Salah satunya adalah memastikan adanya jalan angkut di setiap tahapan penambangan, dengan ruang ekstra di sisi atas untuk akses jalan. Parameter waktu juga harus diperhitungkan untuk mengoptimalkan penjadwalan dan target produksi.

Batas penambangan (*pit limit*) merupakan batas akhir atau paling luar dari suatu tambang terbuka (Pardosi et al., 2020). Faktor-faktor yang mempengaruhi *pit limit* adalah :

1. *Stripping ratio* (SR) yang masih diizinkan dan ekonomis.
2. Karakteristik batuan pembentuk lereng mencakup sifat fisik dan mekanik serta keberadaan struktur geologi yang dominan.
3. Perhitungan Produktivitas Alat Muat Angkut

Produktivitas alat muat angkut merujuk pada jumlah material (batu bara atau overburden) yang dapat dipindahkan oleh alat dalam satuan waktu tertentu.

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Volume material yang dipindahkan (m}^3\text{)}}{\text{Waktu oprasional}}$$

Dimana volume material yang dipindahkan adalah jumlah material yang berhasil dipindahkan oleh alat selama satu periode waktu tertentu (misalnya per jam, per hari, atau per bulan). Dan waktu operasional adalah waktu efektif dimana alat tersebut beroperasi tanpa gangguan (*downtime*).

2.6 Perhitungan Cadangan Menggunakan *Software* Tambang

Perhitungan cadangan dilakukan setelah sumber daya dihitung, dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi yang menentukan apakah batu bara dapat diproduksi secara layak. Tidak semua sumber daya dapat diubah menjadi cadangan, karena hal ini bergantung pada kelayakan ekonomis dan kemampuan ekstraksi.

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan cadangan sebagai berikut:

1. Desain Tambang:

Software digunakan untuk merancang tambang, baik untuk metode open-*pit* (tambang terbuka) atau underground mining (penambangan bawah tanah). Desain tambang akan mencakup pengaturan jalur akses, posisi *pit*, dan pengaturan alat berat.

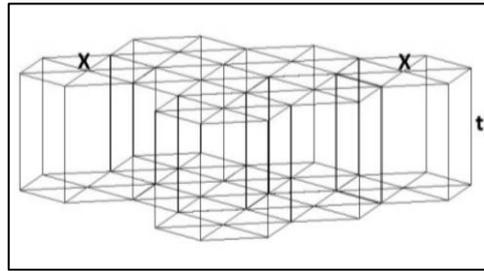
2. Optimasi *Pit*:

Software tambang seperti *Whittle* digunakan untuk melakukan optimasi *pit*. Ini akan menentukan area mana yang harus ditambang terlebih dahulu berdasarkan biaya dan nilai batu bara, serta geometri *pit* yang optimal.

3. Kelayakan Ekonomi

Perhitungan cadangan bergantung pada analisis kelayakan, yang mencakup biaya ekstraksi, harga pasar batu bara, biaya pengupasan (*strip ratio*), dan faktor ekonomi lainnya. *Software* juga melakukan simulasi untuk mengevaluasi profitabilitas dari cadangan yang ada.

Terdapat metode perhitungan cadangan metode non-konvensional memakai pendekatan geostatistik. (Alkausar, 2020).



Gambar 8. Perhitungan Cadangan Metode Poligon

Dimana:

$$\text{Volume} = \text{Luas permukaan} \times \text{Ketebalan}$$

Pada *software* tambang terlebih dahulu di *import* data bor dan data *survey*. Data bor berfungsi untuk pemodelan dibawah permukaan dan data topografi berfungsi untuk pemodelan permukaan. Kemudian data bor tersebut dibuat *solid* poligon dengan batas atas *surface* topografi dan batas bawah *seam floor* batubara paling bawah, sehingga menghasilkan bentuk area perhitungan cadangan tiga dimensi. Kemudian area tersebut dihitung cadangannya dan hasilnya akan ditampilkan pada *table viewer*. Pada tabel tersebut ditampilkan parameter-parameter perhitungan cadangan, seperti *seam* (lapisan batubara), *overburden*, *reserve*, koordinat xyz, dan lain sebagainya.

Perhitungan sumber daya dan cadangan batu bara menggunakan *software* tambang memungkinkan perencanaan tambang yang lebih efisien dan akurat. Dengan *software* tersebut, perusahaan tambang dapat:

1. Menganalisis dan memvisualisasikan data geologi dalam bentuk model 3D.
2. Mengoptimalkan desain tambang dan estimasi cadangan.
3. Menghitung volume sumber daya dan cadangan secara lebih presisi.
4. Melakukan simulasi untuk merencanakan produksi dan meningkatkan profitabilitas.

Perhitungan yang tepat ini sangat penting untuk keberhasilan operasional tambang dan mengurangi risiko dalam pengelolaan sumber daya alam.

2.7 Stripping Ratio

Stripping ratio (SR) adalah rasio antara volume material penutup (*overburden*) yang harus dipindahkan untuk mendapatkan satu unit batu bara. Ini menjadi indikator efisiensi operasional dalam penambangan terbuka, dimana:

$$SR = \frac{\text{Volume } \textit{overburden}}{\text{Volume Batubara yang diperoleh}}$$

Tinggi nilai SR mencerminkan bahwa jumlah *overburden* yang harus dipindahkan untuk memperoleh batu bara semakin banyak, sehingga berdampak pada peningkatan biaya operasional tambang. Sebaliknya, nilai SR yang rendah menunjukkan efisiensi yang lebih baik karena material yang perlu dipindahkan lebih sedikit, yang pada akhirnya dapat mengurangi biaya pengupasan dan meningkatkan margin keuntungan.