

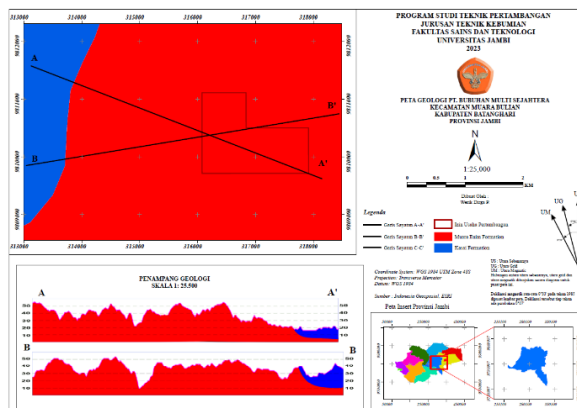
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kondisi Geologi

Secara regional batuan sedimen yang terdapat di daerah ini termasuk dalam cekungan Sumatera Selatan bagian barat yang disebut sebagai sub cekungan Jambi, seperti yang dijelaskan pada peta geologi lembar sarolangun yang disusun oleh S. Suwarna, dkk (1992) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

PT. Bubuhan Multi Sejahtera terletak di formasi muara enim dan memiliki arah *strike* dan *dip* N 315° E/8° pada lokasi penambangan memiliki kondisi geologi sederhana dikarenakan tidak terdapat struktur geologi dan jenis material berupa pasir dan lempung. Berdasarkan data *logbor* kedudukan endapan memiliki satu *seam* dengan ketebalan 4,5-5 meter dan untuk lebih lengkap dapat dilihat pada *kontur struktur roof* dan *floor* pada **lampiran 4 dan 5**.

Formasi muara enim menindih secara selaras formasi air benakat dan menunjukkan bahwa susut laut dan pendangkalan cekungan berlangsung menerus sampai kala pliosen. Batuannya terdiri dari batupasir dan batulempung, sebagian tufaan, disana juga mengandung horison lignit, dan memperlihatkan pengendapan di lingkungan laut dangkal sampai peralihan (ke darat). Berdasarkan posisi stratigrafinya formasi ini berumur miosen akhir sampai pliosen (de coster, 1974). Pada gambar dibawah ini dapat dilihat peta geologi dan terdapat juga pada **lampiran**.



**Gambar 1.** Peta Geologi PT. Bubuhan Multi Sejahtera (Sumber Penulis, 2023)

Di atas formasi muara enim ditindih secara tidak selaras oleh formasi kasai yang berumur plio-plistosen. Formasi ini terdiri dari batupasir dan batulempung darat, ber-batuapung dan tufaan. Ketidak selarasan memperlihatkan pengangkatan setempat pada pliosen akhir yang berkaitan dengan erosi terhadap pegunungan barisan, tetapi tidak berkembang di seluruh wilayah dengan tingkat yang sama (nayoan & martosono, 1974, gafoer dkk, 1986).

Jenis material yang berada pada daerah penelitian umumnya didominasi oleh material jenis pasiran yang berada dibawah *top soil* kemudian material dibawahnya didominasi oleh material jenis lempungan. Berdasarkan pemodelan endapan batubara diperoleh bahwa lapisan batubara yang terdapat pada areal penelitian terdiri dari 1 lapisan yaitu BL1 dimana BL1 merupakan satu-satunya *seam* area IUP. Pada *seam* batubara memiliki ketebalan rata-rata 4,5-5 m. kenampakan fisik dari *seam* dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



**Gambar 2.** Lapisan Batubara pada pit timur  
(Sumber Penulis, 2023)

## **2.2 Perencanaan Tambang**

Perencanaan adalah suatu tahapan penentuan persyaratan secara teknis urutan pekerjaan apa yang dilakukan untuk mencapai sebuah tujuan serta sasaran kegiatan (Projosumarto, 2004). Perencanaan ialah gagasan yang terdapat pada tahap awal suatu kegiatan yang berguna untuk menetapkan apa dan karena apa dikerjakan, kapan, siapa, dimana serta bagaimana pelaksanaan kegiatannya. Perencanaan tambang pada umumnya dimulai dari perencanaan lokasi penambangan, rencana penambangan mencakup perencanaan alat utama dan alat penunjang dan *Design pit*, penjadwalan produksi, rencana penimbunan hingga rencana reklamasi.

Terdapat beberapa hal penting yang harus dipahami pada perencanaan tambang pada tambang terbuka. Hal tersebut adalah jenis bahan galian tambang, besaran target produksi tambang, lokasi bahan galian, bentuk dan persebaran bahan galian serta posisi bahan galian tersebut yang berada dibawah permukaan topografi. jenis alat mekanis utama dan penunjang yang tersedia, sarana dan prasarana apa yang sudah ada dan belum ada pada daerah keberadaan bahan galian, bagaimana kondisi lingkungan dan sosial masyarakat pada lokasi yang akan dilaksanakan kegiatan penambangan.

Perencanaan tambang dibagi menjadi empat macam yaitu :

- a. Perencanaan tambang *longterm* (jangka panjang), adalah suatu perencanaan kegiatan penambangan yang rentang waktunya lebih dari lima tahun secara berkelanjutan.
- b. Perencanaan tambang *middleterm* (jangka menengah), adalah suatu perencanaan kegiatan penambangan yang rentang waktunya antara satu sampai lima tahun.
- c. Perencanaan tambang *shortterm* (jangka pendek), adalah suatu perencanaan penambangan yang rentang waktunya kurang dari setahun, mencakup antara satu bulan sampai enam bulan, tiga bulan, satu bulan hingga perminggu, yang berfungsi untuk kelancaran perencanaan *middleterm* dan *longterm*.

Perencanaan tambang jangka pendek dilakukan dengan cara membandingkan rencana bulanan dengan jumlah volume material yang dibongkar dari hasil *survey* di akhir bulan sebelumnya (Suhairi et al., 2018). Pada kegiatan penambangan, rencana awal dan kondisi aktual di lapangan sering tidak sesuai. Ketidaksesuaian ini diantaranya adalah *overcut* (kelebihan penggalan), *undercut* (kekurangan penggalan), dan *overstripping* (pengupasan melebihi target posisi yang ditentukan) (Ibrahim, 2015).

### **2.3 Batubara**

Batubara adalah batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna coklat tuasampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan tumbuhan secara kimia dan fisik. Batubara secara geologi termasuk golongan batuan sedimen organo klastik. Lingkungan pembentukan batubara sendiri harus merupakan

cekungan *anaerob*, yaitu tidak ada oksigen yang terlibat dalam prosesnya (Arif, 2014).

Secara umum klasifikasi batubara di Indonesia dibagi menjadi *brown coal* dan *hard coal* (SNI13-6011-1999, 1999). *Brown coal* (batubara energi rendah) adalah jenis batubara dengan peringkat paling rendah, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10-70%) dengan nilai kalori <7000 kalori/gram. *Hard coal* didefinisikan sebagai semua jenis batubara yang memiliki peringkat lebih tinggi dari *brown coal*, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relative rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relative tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan dengan nilai kalori >7000 kalori/gram.

Menurut Sukandarrumidi (2014), Batubara merupakan endapan organik yang mutunya sangat ditentukan oleh beberapa factor antara lain tempat terdapatnya cekungan, umur dan banyaknya kontaminasi.

Secara umum untuk menentukan kualitas batubara yaitu sebagai berikut :

1. *High heating value (Kcal/kg)*

*High heating value* sangat berpengaruh terhadap pengoperasian alat seperti :

-*pulverizer*

-*pipa batubara, wind box*

-*burner*

*Semakin tinggi High heating value* maka aliran batubara setiap jamnya semakin rendah, sehingga kecepatan coal feeder harus disesuaikan.

2. *Total moisture (%)*

Kandungan air total (*total moisture*) merupakan jumlah kandungan air yang terdapat pada batubara dalam bentuk *inherent* dan *adherent* pada kondisi batubara diambil (*as sampled*) atau diterima (*as received*).

3. *Volatile matter (%)*

*Volatile matter* merupakan zat aktif yang terdapat pada batubara yang menghasilkan energi atau panas apabila batubara tersebut dibakar, sehingga zat terbang merupakan zat aktif yang mempercepat proses pembakaran. *moisture*

tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak.

4. *Ash (%)*

Kandungan abu akan terbawa ngas pembakaran melalui ruang bakar dan daerah konveksi dalam bentuk abu abu terbang atau abu dasar.

5. *Sulfur (%)*

Kandungan sulfur berpengaruh terhadap tingkat korosi sisi dingin yang terjadi pada elemen pemanas udara, terutama apabila suhu kerja lebih rendah dari letak embun sulfur.

6. *Coal size (<3 mm, 40 mm, 50 mm)*

Ukuran Butir batubara dibatasi pada rentang butir halus dan butir kasar. Butir paling halus untuk ukuran <3mm, sedangkan untuk ukuran paling kasar sampai 50 mm.

7. *Fixed carbon (%)*

*Fixed carbon* menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah zat terbang (*volatile matter*) dihilangkan. Nilai *fixed carbon* sangat mempengaruhi kualitas suatu batubara, karena semakin tinggi nilai *fixed carbon* maka kualitas batubara semakin meningkat.

8. *Ultimate analysis*

*Ultimate analysis* merupakan analisa bahan bakar yang ditinjau dari sisi kimiawi berupa kadar komposisi kimia. Kadar komposisi kimia yang didapat dari hasil *ultimate analysis* berupa kadar *Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen* dan *Sulfur*.

## **2.4 Perhitungan Sumberdaya**

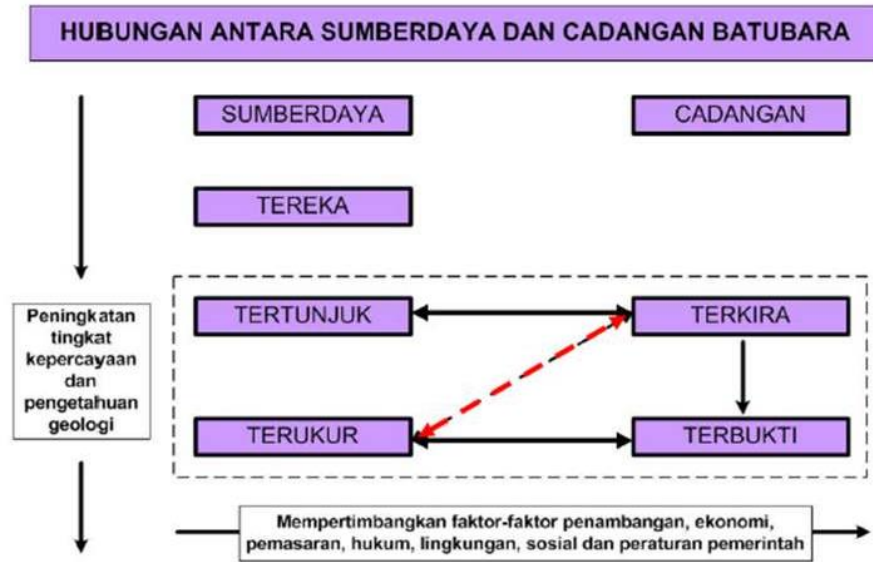
### **2.4.1 Batubara**

Menurut SNI 5015:2011 tentang pedoman sumber daya dan cadangan batubara bahwa sumber daya batubara diartikan sebagai bagian dari endapan batubara yang keberadaan, kualitas, kuantitas dan kemenerusannya telah diketahui dan memiliki nilai tambang ekonomis.

Sumber daya batubara dibagi menjadi 3 :

1. Sumber daya batubara tereka adalah bagian dari total estimasi sumber daya batubara dimana kualitas serta kuantitasnya diperkirakan dengan tingkat kepercayaan rendah.

2. Sumber daya batubara tertunjuk adalah bagian dari total sumber daya yang tingkat keyakinan masuk akal berdasarkan titik-titik informasi pengamatan.
3. Sumber daya batubara terukur adalah bagian dari total sumber daya batubara dengan tingkat kepercayaan yang tinggi berdasarkan titik-titik informasi pengamatan.



**Gambar 3.** Sumber daya dan cadangan  
(Sumber SNI 5015:2011)

**Tabel 1.** Jarak Pengeboran

Kondisi Geologi	Kriteria	Sumberdaya		
		Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik informasi (m)	$1000 < x \leq 1500$	$500 < x \leq 1000$	$\leq 500$
Moderat	Jarak titik informasi (m)	$500 < x \leq 1000$	$250 < x \leq 500$	$\leq 250$
Kompleks	Jarak titik informasi (m)	$200 < x \leq 400$	$100 < x \leq 200$	$\leq 100$

(Sumber SNI 5015:2011)

#### 2.4.2 Overburden

Tanah penutup (*Overburden*) merupakan material yang terdapat di permukaan dan sifatnya dapat dikatakan lepas. *Overburden* terdiri dari tiga jenis material yaitu material *top soil*, *common soil* dan *rock* (Tenriajeng, 2003).

Definisi dari ketiga jenis material tersebut adalah sebagai berikut:

##### 1. Top Soil

*Top soil* merupakan materi bagian atas yang sifatnya lunak dan mudah digali. Contoh material *top soil* adalah material eks-penimbunan dan memiliki kedalaman kurang

lebih 2 m. Karena sifat dari materi *top soil* yang lunak dan mudah digali maka penggaliannya cukup dengan menggunakan *Excavator backhoe*. Adapun material *top soil* yang digali berupa tanah yang mengandung humus.

## 2. *Common Soil*

*Common soil* merupakan material yang sifatnya agak keras dan agak sulit digali, sehingga penggaliannya tidak dapat menggunakan *Excavator*, melainkan terlebih dahulu harus *di-ripping* menggunakan *bulldozer*. Material yang termasuk *common soil* adalah *shale*, *sillsstone*, *clay*, dan lain-lain.

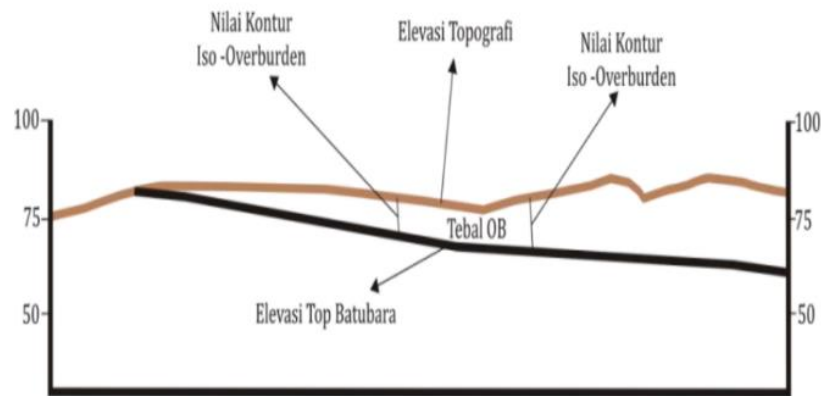
## 3. *Rock*

*Rock* merupakan material yang sangat keras dan sulit digali dengan menggunakan alat berat sehingga untuk melepaskan material rock yaitu dengan peledakan. Material yang termasuk *rock* adalah granit, andesit, *sandstone* dan lain-lain.

**Tabel 2.** Densitas material

<b>Tipe Batuan</b>	<b>Rentang Densitas (Gr/Cc)</b>	<b>Densitas Rata-Rata (Gr/Cc)</b>
Overburden	1,92	1,92
Soil	1,20-2,40	1,92
Clay	1,63-2,60	2,21
Gravel	1,70-2,40	2
Sand	1,70-2,30	2
Sandstone	1,61-2,76	2,35
Shale	1,77-320	2,4
Limestone	1,93-2,90	2,55
Dolomite	2,28-2,90	2,7

(Sumber Tenriajeng, 2003)



**Gambar 4.** Ilustrasi Pengupasan Overburden  
(Sumber Tenriajeng, 2003)

## 2.5 Lereng

### 2.5.1 Lereng Secara Umum

Menurut Akbar (2020), Lereng merupakan setiap bagian permukaan yang memotong material di alam dan memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal, secara umum lereng terbagi atas 3 bagian, yaitu :

1. Lereng alam yaitu lereng yang terjadi akibat proses alamiah, misalnya lereng pada perbukitan.
2. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan misalnya tanggul atau bendungan urungan tanah.
3. Lereng yang dibuat dalam pada tanah asli misalnya tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air irigasi.

Menurut Syafar (2017), Geometri lereng merupakan kenampakan visual yang terdapat di lapangan. Pengukuran geometri lereng dapat dilakukan dengan menggunakan *total station* untuk mengetahui tinggi lereng, jarak datar dan sudut kemiringan lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kemantapannya. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng maka kemantapannya semakin kecil.

### 2.5.2 Analisis Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng dalam suatu pekerjaan yang diakibatkan oleh kegiatan penggalian maupun kegiatan penimbunan merupakan masalah yang harus diperhatikan. Hal ini sangat berkaitan dengan kerugian yang mungkin timbul jika terjadi suatu kelongsoran.

Tingkat kestabilan pada suatu rancangan lereng perlu di



ukur dengan menggunakan suatu standar yaitu Faktor Keamanan (FK). FK merupakan suatu fungsi antara gaya yang menahan longsor dan juga gaya yang menyebabkan longsor (Azizi & Handayani, 2011)

**Tabel 3.** Nilai faktor keamanan

Jenis Lereng	keparahan longsor	kriteria dapat diterima		
		FK Statis	FK Dinamis	Probabilitas Longsor
Lereng Tunggal	Rendah-Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

(Sumber : KEPMEN ESDM 2018)

### 2.5.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Menurut Herlambang, dkk (2020), Kemantapan atau kestabilan suatu lereng tergantung pada besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincirnya. Gaya penahan adalah gaya yang menahan terjadinya suatu longsor sedangkan gaya penggerak merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya longsor.

Menurut Bria & Isjudarto (2017), Faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng. secara umumnya stabil atau tidaknya suatu lereng tergantung dari beberapa faktor, antara lain:

#### 1. Geometri Lereng

Geometri lereng meliputi bentukan lereng, baik tinggi lereng dan besar sudut lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang.

#### 2. Struktur batuan

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinuitas) dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor. Jika orientasi umum bidang-bidang lemah tersebut searah dengan arah lereng dan kemiringan bidang lemah lebih landai dari kemiringan bidang

lereng. Maka struktur tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih besar terhadap stabilitas lereng, sebaliknya jika arah dan kemiringan bidang lereng berlawanan maka struktur bidang lemah tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih kecil terhadap stabilitas lereng. Struktur geologi mempunyai kemandapan lereng adalah adanya bidang ketidakmenerusan. Hal yang paling penting dalam bidang ketidakmenerusan adalah adanya pengaruh tekanan air yang berada pada saat rekahan ditarik. Sekain adanya rembesan air pada bidang ketidakmenerusan tersebut, rekahan tarik juga akan terisi oleh material pengisi yang dapat memisahkan dua sisi batuan, batuan tersebut akan memiliki kuat geser yang kecil untuk menahan potensi longsoran. Kondisi bidang lemah dan penyebaran perlu diketahui untuk menentukan arah dan jenis longsoran yang terjadi pada massa batuan tersebut. Bila jenis longsoran diketahui, maka lebih mudah untuk 8 menentukan geometri yang mantap dengan melakukan analisa kestabilan lereng.

### 3. Kandungan Air Tanah

Kandungan air tanah sebagai *moisture* tanah pada lereng yang bersangkutan akan memberikan tambahan beban yang besar pada lereng. Selain itu juga, kondisi material yang jenuh dengan air tanah akan mengalami penurunan kekuatan geser akibat adanya tekanan air pori di dalam tubuh material tersebut. Penambahan air tanah pada pori-pori tanah atau batuan akan memperbesar beban dan pada akhirnya menimbulkan gaya penggerak yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor. Kondisi air tanah yang dimaksud disini adalah ketinggian level air tanah yang berada di bawah permukaan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang-bidang lemah yang secara efektif mengurangi kekuatan geser dan mempercepat proses pelapukan dari batuan.

### 4. Berat beban

Berat beban yang di tanggung oleh lereng Pada suatu lereng yang menanggung beban massa, semakin berat beban yang ditanggung lereng maka semakin besar potensi lereng untuk mengalami pergerakan

### 5. Sifat fisik dan Sifat Mekanik Batuan

a. Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan terdiri dari :

- Bobot isi asli (natural density)
- Bobot isi kering (dry density)
- Bobot isi (saturated density)
- Berat Jenis Semu (apparent specific gravity)
- Berat jenis sejati (*true specific gravity*)
- Kadar air asli (natural water content),
- Saturated water content (absorption).
- Derajat kejenuhan
- Porositas

b. Uji sifat Mekanik

Uji kuat tekan (*Unconfined Compression Strength/UCS*) dari data hasil pengujian kuat tekan, dapat digambarkan kurva tegangan-regangan (*stress-strain*) untuk tiap percontohan batuan, Kemudian dari kurva ini dapat ditentukan sifat mekanik batuan:

- Kuat tekan ( $\sigma_c$ )
- Batas elastik ( $\sigma_E$ )
- Modulus young  $E$
- *Poisson's ratio* : pada tegangan  $\sigma_1$

c. Uji triaksial

Salah satu uji yang terpenting di dalam mekanika batuan, untuk menentukan kekuatan batuan dibawah tiga komponen tegangan adalah uji *triaksial*. Contoh yang digunakan berbentuk silinder dengan syarat-syarat sama pada uji kuat tekan : Dari uji *triaksial* dapat ditemukan:

- Strength envelope (*kurva intrinsic*)
- Kuat geser (*shear strength*)
- Sudut geser dalam ( $\Phi$ )
- Kohesi (C)

d. Uji geser Langsung

Uji ini digunakan untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu. Dari hasil uji dapat ditentukan:

- Garis *coulomb's shear strength*
- Kuat geser (*shear strength*)

- Sudut geser dalam ( $\Phi$ )
  - Kohesi (C)
6. Gaya dari luar
- Gaya-gaya dari luar yang dapat mempengaruhi (mengurangi) kestabilan suatu lereng adalah :
- Getaran yang diakibatkan oleh gempa.
  - Peledakan di dekat lereng.
  - Pemakaian alat-alat mekanis yang berat.

#### **2.5.4 Geometri Jenjang KEPMEN 1827 No. 555 Pasal 241**

- a. Kemiringan, tinggi dan lebar teras harus dibuat dengan baik dan aman untuk keselamatan para pekerja agar terhindar dari material atau benda jatuh
- b. Tinggi jenjang (bench) untuk pekerjaan yang dilakukan pada lapisan yang mengandung pasir, tanah liat, kerikil, dan material lepas lainnya harus:
  1. Tidak boleh lebih dari 2,5 m apabila dilakukan secara manual.
  2. Tidak boleh lebih dari 6 m apabila dilakukan secara mekanik.
  3. Tidak boleh lebih dari 20 m apabila dilakukan dengan menggunakan dragline, bucket wheel Excavator atau alat sejenis kecuali mendapat persetujuan Kepala Inspeksi Tambang.
- c. Tinggi jenjang untuk pekerjaan yang dilakukan pada material kompak tidak boleh lebih dari 6 m apabila dilakukan secara manual.
- d. Dalam hal penggalian dilakukan sepenuhnya dengan alat mekanis yang dilengkapi dengan kabin pengaman yang kuat, maka tinggi jenjang maksimum untuk material kompak 15 m, kecuali mendapat persetujuan Kepala Pelaksanaan Inspeksi Tambang.
- e. Studi kemandapan lereng harus dibuat apabila Tinggi jenjang keseluruhan pada sistem penambangan berjenjang lebih dari 15 m dan tinggi setiap jenjang lebih dari 15 m
- f. Lebar lantai teras kerja sekurang-kurangnya 1,5 kali tinggi jenjang atau disesuaikan dengan alat-alat yang digunakan sehingga dapat bekerja dengan aman dan harus dilengkapi dengan tanggul pengaman (Safety Berm) pada tebing yang terbuka dan diperiksa pada setiap giliran kerja dari kemungkinan adanya rekahan atau tanda-tanda tekanan atau tanda-tanda kelemahan lainnya.

### **2.6 Desain Tambang**

#### **2.6.1 Batas Penambangan (*Pit Limit*)**

Batas penambangan (*Pit Limit*) merupakan batas akhir atau paling luar dari suatu tambang terbuka. Faktor-faktor yang

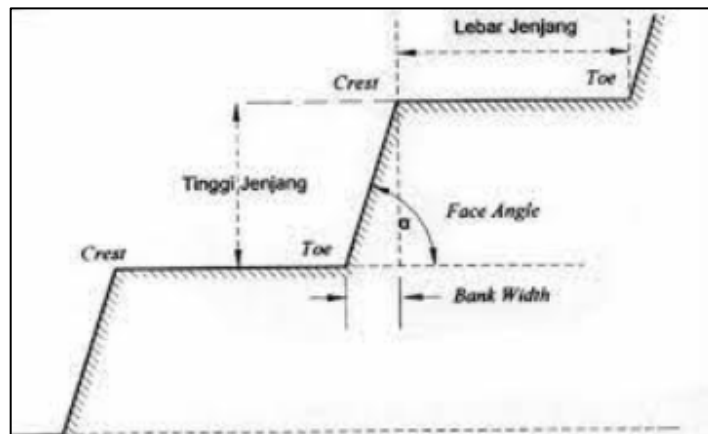
mempengaruhi *pit limit* adalah :

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 Tujuan yang ingin dicapai adalah menentukan batas-batas penambangan batubara (yakni jumlah cadangan dan kadarnya) yang akan memaksimalkan nilai bersih total dari endapan batubara tersebut.

### 2.6.2 Geometri Jenjang (*Bench*)

Karena letak batubara berada dilapisan bawah dari permukaan dan tertutup oleh lapisan tanah penutup, maka untuk mencapai lapisan batubara itu biasanya dibuat jenjang/*bench*. Suatu jenjang yang dibuat harus mampu menampung dan mempermudah pergerakan alat-alat mekanis pada saat aktivitas pengupasan tanah penutup dan pengambilan endapan.

Geometri jenjang terdiri dari tinggi jenjang, sudut lereng jenjang tunggal dan lebar jenjang. Rancangan geoteknik jenjang biasanya dinyatakan dalam bentuk parameter-parameter untuk ketiga aspek ini:



**Gambar 5.** Geometri Jenjang  
(Sumber Bargawa, 2018)

#### 1. Lebar jenjang

Lebar jenjang (*bench width*) adalah jarak datar dari ujung lantai jenjang hingga belakang lantai jenjang. Lebar jenjang ditentukan berdasarkan faktor keamanan. Tujuan pembuatan jenjang adalah untuk menahan tanah atau batuan yang runtuh. Pembersihan berkala pada jenjang ini dilakukan menggunakan *bulldozer* kecil atau motor *grader*.

## 2. Tinggi Jenjang

Tinggi jenjang (*bench height*) adalah jarak vertikal dari ujung bawah jenjang hingga atas ujung atas jenjang. Biasanya alat muat yang digunakan harus mampu mencapai *crest* (bagian atas jenjang). Apabila diinginkan peningkatan dimensi jenjang maka ukuran alat muat harus menyesuaikan dengan pertimbangan tersebut.

## 3. Sudut kemiringan Jenjang

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. Pada umumnya pekerjaan penggalian yang dilakukan memakai alat gali mekanis seperti *backhoe* atau *shovel* dipermukaan jenjang akan menghasilkan sudut lereng antara 60–70°. Biasanya sudut lereng yang lebih curam memerlukan peledakan *pre-splitting*.

Menurut Hustrulid, dkk (2013), Pada tambang terbuka, jenjang digambarkan dengan kaki lereng (*toe*), puncak (*crest*) dan sudut muka jenjang (*face angle*) dan lebar jenjang (*bench width*). Permukaan bagian atas dan bagian bawah jenjang dipisahkan oleh jarak (H) yang disebut dengan tinggi jenjang. Lebar *bench* adalah proyeksi horizontal dari muka jenjang.

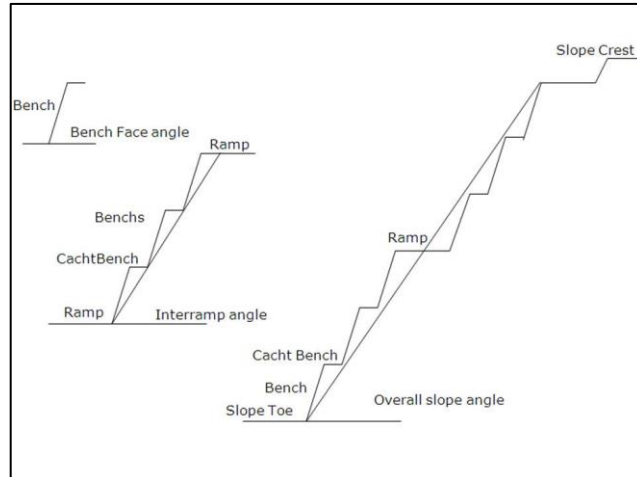
Beberapa parameter penentuan dimensi jenjang, yaitu:

1. Sasaran produksi dan *stripping ratio*
2. Kondisi *Overburden*
3. Kondisi dan karakter cebakan batubara
4. Peralatan yang digunakan
5. Penimbunan material

### 2.6.3 Sudut Jenjang (*Slope*)

#### 1. *Overall slope angle*

*Overall slope angle* merupakan sudut kemiringan dari keseluruhan jenjang yang dibuat pada *front* penambangan. Kemiringan ini diukur dari *crest* paling atas sampai dengan *toe* paling akhir dari *front* penambangan.

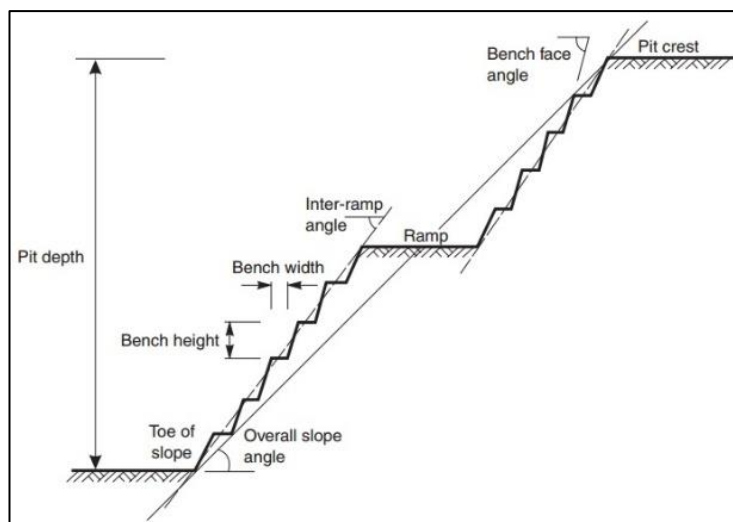


**Gambar 6.** *Overalslope angle*  
(Sumber Bargawa, 2018)

Pada awalnya sebuah *Design pit* dibuat dengan *overall slope* sebesar  $45^\circ$  dan kemudian dimodifikasi berdasarkan informasi geoteknik dari material yang ada dalam *pit* tersebut. *Batter* dapat diatur pada kemiringan  $30-35^\circ$  untuk *Overburden*, meningkat  $35-40^\circ$  untuk batuan yang lapuk dan hingga  $55^\circ$  untuk batuan *fresh*. Menurut Robert, Hook dan Fish (1972) sebaiknya kemiringan lereng kurang dari  $60^\circ$  pada kedalaman 65 m dan kurang dari  $40^\circ$  pada kedalaman 300 m.

2. *Overall slope angle with ramp*

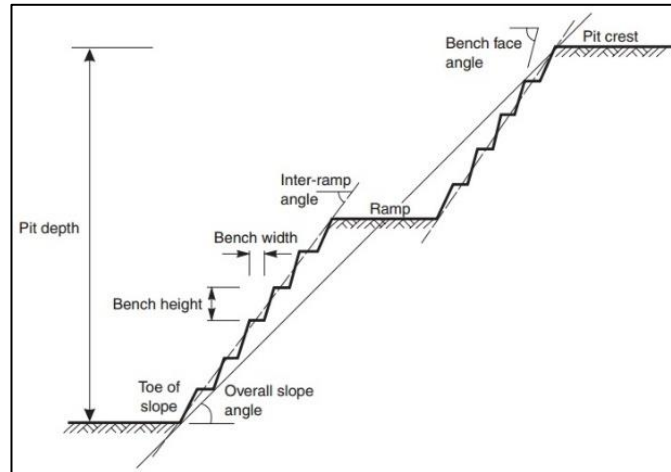
Pengertiannya sama, namun pada bagian pertengahan *Overall slope* diberi salah satu jenjang yang dimensi ukurannya lebih lebar dan digunakan sebagai jalan angkut.



**Gambar 7.** *overall slope angle with ramp*  
(Sumber Bargawa, 2018)

### 3. Inter-ramp Slope Angle

*Inter-ramp slope angle* merupakan sudut yang berada diantara *ramp* yang diukur dari *crest* sampai dengan *toe* pada *ramp*.

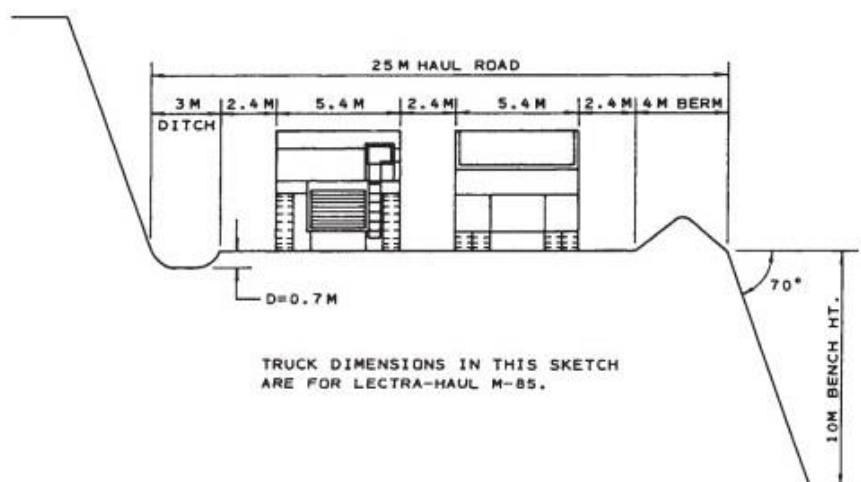


**Gambar 8.** *inter-ramp slope angle*  
(Sumber Bargawa, 2018)

#### 2.6.4 Geometri Jalan Tambang

Penampang melintang yang khas melalui jalan angkut tambang yang membawa lalu lintas dua arah. Seperti yang dapat dilihat, ada tiga komponen utama yang perlu dipertimbangkan:

- lebar jalur lalu lintas,
- tanggul pengaman,
- parit *drainase*



**Gambar 9.** Jalan Dua Jalur  
(Sumber Kennedy, B. 2009)

Menurut Couzens (1979), Lebar masing-masing jalur dijumlahkan untuk mendapatkan lebar jalan total. Kriteria lebar



untuk lajur yang dilalui pada segmen pengangkutan lurus harus didasarkan pada kendaraan terlebar yang digunakan. Manual AASHO 1965 untuk Desain Jalan merekomendasikan bahwa setiap lajur perjalanan harus menyediakan ruang bebas ke kiri dan kanan sebesar setengah dari lebar kendaraan. Jalan dua arah yang paling umum di tambang terbuka, aturan praktisnya adalah bahwa lebar jalan tidak boleh kurang dari empat kali lebar truk yaitu  $\text{Lebar jalan} \geq 4 \times \text{Lebar truk}$ .

Menurut Kaufman, dkk (1977), Faktor-faktor yang harus diikuti dalam menentukan desain jalan adalah sebagai berikut :

1. Tentukan lebar semua peralatan yang mungkin harus melalui jalan angkut.
2. Minta data dimensi untuk semua alat berat baru yang diantisipasi.
3. Tentukan lebar keseluruhan dari setiap kombinasi peralatan yang mungkin terlibat dalam situasi berpapasan.
4. Tentukan lokasi segmen jalan yang membutuhkan lebar yang lebih besar dari lebar normal.

Pada jalan menikung jarak harus ditambah karena posisi kendaraan yang menggantung dan meningkatnya kesulitan mengemudi.

Untuk kombinasi kecepatan dan panjang jari-jari tertentu, gaya sentrifugal akan sama atau melebihi gaya penahan. Dalam kasus seperti itu, kendaraan akan tergelincir ke samping. Untuk membantu kendaraan yang melewati tikungan, maka adanya kemiringan pada jalan menikung atau *superelevasi*. *superelevasi* (kemiringan melintang) dapat dipilih untuk mengurangi gaya sentrifugal. Persamaan dasarnya adalah sebagai berikut :

$$e + f = \frac{v^2}{15R} \dots\dots\dots (1)$$

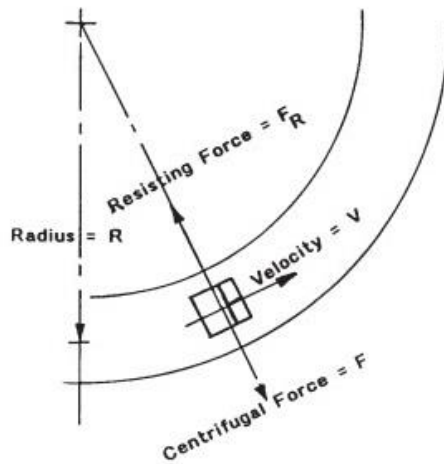
Keterangan

e = tingkat *superelevasi* (m/m)

f = faktor gesekan samping

v = kecepatan kendaraan (kpj)

R =jari-jari lengkung (m).



**Gambar 10.** Jalan pada tikungan  
(Sumber Kennedy, B. 2009)

Menurut Awang, (2004). Beberapa geometri jalan tambang yaitu sebagai berikut :

1. Lebar jalan angkut lurus

Lebar jalan angkut minimum pada kegiatan pertambangan berpatokan kepada jumlah jalur dan lebar alat angkut terbesar. Dapat dirumuskan sebagai berikut :

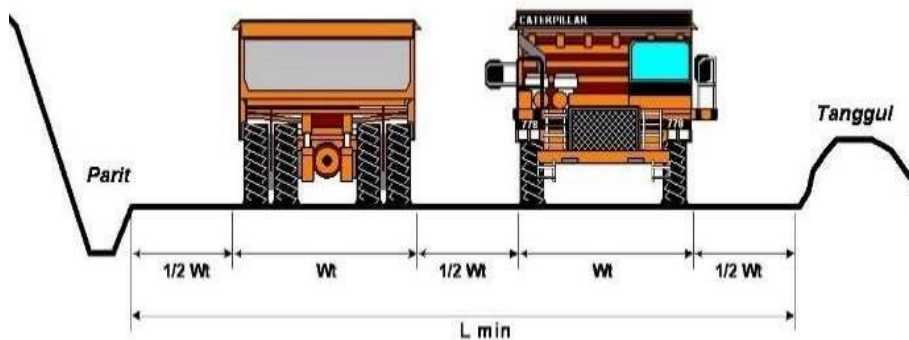
$$L = n \cdot Wt + (n + 1)(0,5 \cdot Wt) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

L : lebar minimum jalan angkut (m)

n : jumlah jalur

Wt : lebar alat angkut terbesar (m)



**Gambar 11.** Geometri jalan  
(Sumber Awang, 2004)

2. Lebar jalan angkut pada tikungan

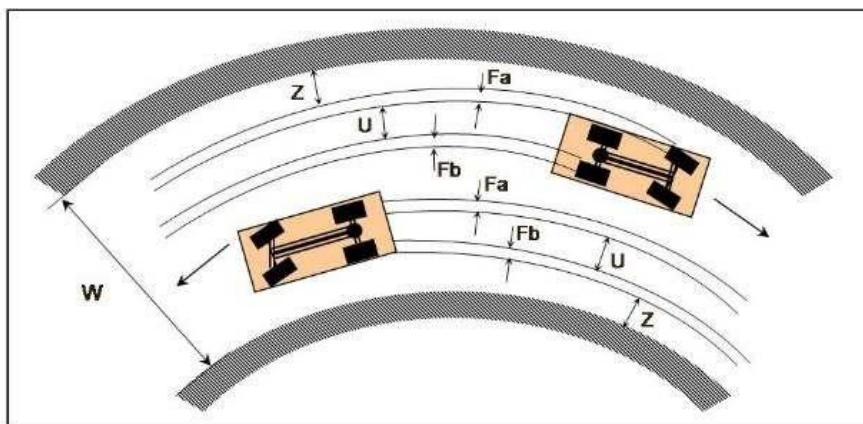
Pada tikungan jalan angkut memiliki lebar yang lebih besar dibandingkan jalan lurus. Persamaan yang digunakan untuk

menghitung lebar minimum jalan angkut pada tikungan sebagai berikut :

$$W = 2 (U + Fa + Fb + Z) + C \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- W = lebar jalan angkut pada tikungan (m)
- U = jarak jejak roda (m)
- Fa = lebar jantai depan (m)
- Fb = lebar jantai belakang (m)
- Z = lebar tepi jalan (m)
- C = total *lateral clearance* (m)



**Gambar 12.** Geometri jalan tikungan  
(Sumber Awang, 2004)

3. Kemiringan jalan (*grade* jalan)

Kemiringan jalan adalah salah satu faktor penting saat melakukan evaluasi geometri jalan, dikarenakan kemiringan jalan sangat berpengaruh terhadap kemampuan produktivitas alat angkut, pada saat tanjakan maupun turunan. Kemiringan jalan yang dapat dilalui oleh alat angkut tidak boleh lebih dari 12%, dengan memperhatikan spesifikasi kemampuan alat angkut, jenis material jalan dan penggunaan bahan bakar.

*Grade* jalan dinyatakan dalam persen (%), artinya kemiringan 1 % berarti jalan tersebut memiliki beda tinggi 1 meter pada jarak mendatar 100 meter. Dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Grade = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan

- Grade* : kemiringan jalan angkut (%)
- $\Delta h$  : beda tinggi antara 2 titik yang diukur
- $\Delta x$  : jarak datar antara dua titik yang diukur

### 2.6.5 Perhitungan Cadangan

Cadangan batubara adalah bagian dari sumberdaya batubara terukur dan tertunjuk yang memiliki nilai tambang ekonomis dengan menyertakan dilusi dan losses yang terjadi pada saat melakukan penambangan.

Cadangan batubara dibagi menjadi 2 :

1. Cadangan batubara terkira merupakan bagian dari sumberdaya batubara tertunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis
2. Cadangan batubara terbukti merupakan bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari sumberdaya batubara terukur.

Perhitungan cadangan adalah suatu kegiatan yang dilakukan sebagai langkah mengetahui besaran volume terhadap suatu material yang ketersediaannya secara alamiah. Perhitungan cadangan dilakukan menggunakan berbagai metode berdasarkan pada pertimbangan empiris dan teoritis. Parameter yang diperhitungkan umumnya adalah volume, tonase, kadar dan kualitas bahan galian. Dasar hukum yang dapat dijadikan sebagai acuan dan juga aturan dalam perhitungan cadangan adalah KEPMEN 1827 tahun 2018 yaitu pada lampiran kedua tentang pedoman pengelolaan teknik pertambangan, dalam bagian E butir ke 1. Estimasi cadangan batubara mengacu pada SNI 5015:2011 dan perubahannya.

Dalam melakukan penaksiran cadangan batubara harus mempertimbangkan hal berikut, antara lain adalah (Sulistya, 2010)

Taksiran sumberdaya harus mengartikan secara tepat kondisi geologiserta karakteristik endapan bahan galian.

- a. Model sumberdaya yang digunakan pada perancangan tambang harus konsisten terhadap metode penambangan dan Teknik perencanaan tambang yang akan digunakan.
- b. Metode pemodelan yang digunakan harus memberikan hasil yang dapat di uji ulang dan di validasi.
- c. Taksiran harus didasarkan pada data aktual yang telah diolah secara objektif. Terpakai atau tidaknya sebuah data dalam penaksiran harus diputuskan berdasarkan pedoman perhitungan cadangan. Tidak boleh terdapat

pembobotan data dan jika dilakukan pembobotan data harus dilakukan berdasarkan dasar yang kuat.

Setelah perhitungan cadangan selesai, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu memeriksa atau mengecek taksiran perblok. Hal tersebut dilakukan menggunakan data bor yang berada di sekitarnya. Setelah kegiatan penambangan dimulai, harus dilakukan pengecekan ulang terhadap taksiran cadangan dengan tonase hasil penambangan yang sesungguhnya (Notosiswoyo et al., 2005).

Data-data yang diperlukan pada pemodelan dan perhitungan cadangan batubara pada umumnya terdiri dari 4 data, yaitu (Komang et al., 2005)

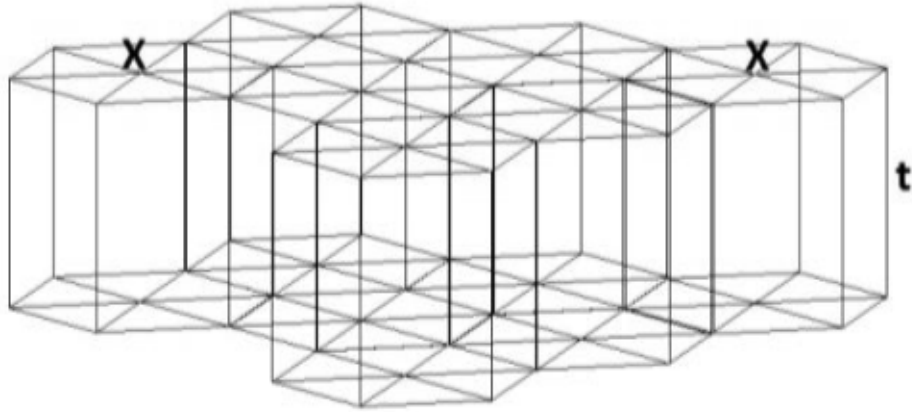
- a. Peta topografi (xyz aktual)
- b. Peta geologi dan *cropline* batubara
- c. Data pengeboran (litologi dan *survey*)
- d. Peta situasi tambang

Empat data tersebut merupakan data dasar dalam perhitungan cadangan yang memiliki fungsi masing-masing. Peta topografi berfungsi untuk mengetahui elevasi di sekitar area bahan galian. Peta geologi dan *cropline* batubara berguna untuk mengetahui area singkapan batubara, yang mana dijadikan sebagai rencana area penambangan dimulai. Data pengeboran memuat data litologi bawah tanah pada titik koordinat area pengeboran berupa jenis material dan ketebalannya, kemudian dilakukan korelasi untuk menentukan lapisan dan *seam* batubara. Peta situasi dan data-data yang memuat batasan-batasan alamiah berfungsi dalam penentuan batas/*boundary* perhitungan cadangan.

Terdapat beberapa metode perhitungan cadangan, diantaranya adalah metode konvensional dan metode non konvensional. Metode konvensional menggunakan pendekatan penaksiran dan perhitungan yang sederhana, sedangkan metode non-konvensional menggunakan pendekatan geostatistik. Salah satu metode konvensional perhitungan cadangan adalah metode *polygon*.

Perhitungan cadangan metode ini memiliki konsep suatu sampel didefinisikan sebagai prisma. Metode ini memiliki pendekatan menggunakan nilai titik data yaitu lubang bor sebagai

pengaruh untuk mewakili area pengaruh. Batas area pengaruh ditentukan berdasarkan setengah dari jarak diantara lubang bor. Area *polygon* atas prisma merupakan *Surface topography* dan area *polygon* bawah prisma merupakan *floor seam* batubara paling bawah. Tanda (x) pada gambar dibawah ini merupakan letak lubang bor atau titik pusat prisma, sedangkan tanda (t) adalah tinggi prisma atau ketebalan litologi pada logbor (Alkausar, 2020).



**Gambar 13.** Metode Poligon  
(Sumber Alkausar, 2020).

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.

#### 2.6.6 Perhitungan Nisbah Pengupasan (*Striping Rasio*)

Salah satu cara menggambarkan efisiensi geometri (*geometrical efficiency*) dalam kegiatan penambangan adalah dengan istilah “*Striping ratio*” atau nisbah pengupasan. *Striping ratio* (SR) menunjukkan jumlah *Overburden* yang harus dipindahkan untuk memperoleh sejumlah batubara yang diinginkan. Ratio ini secara umum digambarkan sebagai berikut:

$$SR = \frac{\text{Overburden (m}^3\text{)}}{\text{Coal (tons)}} \dots\dots\dots(5)$$

Dari nilai *stripping ratio* yang diperoleh dan dibandingkan dengan nilai BESR (*Break Even Stripping Ratio*) yang telah dihitung sebelumnya, maka akan diperoleh bahwa secara teknis batasan kegiatan penambangan dalam *pit* adalah sampai nilai BESR yang dicapai dalam perhitungan *stripping ratio*.

## 2.7 Kemampuan Alat Mekanis

Kapasitas Unit Untuk mengetahui kemampuan produksi alat mekanis yang digunakan dapat dilakukan dengan menghitung produktifitas setiap alat mekanis. Alat mekanis yang sering dipakai saat kegiatan penambangan adalah alat gali muat, alat angkut dan alat *support*. Setiap alat mekanis mempunyai kemampuan produksi yang berbeda-beda tergantung spesifikasi alat tersebut.

### 2.7.1 Produktifitas

#### Alat Gali Muat

Menurut Indonesianto (2018), Alat gali muat adalah alat mekanis yang digunakan untuk menggali sekaligus memuat material ke dalam alat angkut.

- a. *Power shovel*
- b. *Dozer shovel*
- c. *Backhoe*
- d. *Dragline*

*Backhoe* adalah alat gali muat yang paling umum digunakan dalam penambangan.

produktifitas alat angkut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \frac{Kb \times Sf \times Ff \times E \times 3600}{Ctm} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- Q = Produktifitas (m<sup>3</sup>/jam)
- KB = *kapasitas bucket*
- FF = *Bucket fill factor*
- SF = *Swell factor*
- Ctm = *cycle time* (waktu siklus) (detik)
- E = Efisiensi kerja

#### Alat Angkut

Menurut Indonesianto (2018), Untuk menghitung kemampuan produksi alat angkut yaitu alat *dump truck*

mempertimbangkan kombinasi pemuatan peralatan gali dan muat.

Alat angkut adalah alat mekanis yang digunakan untuk mengangkut material dari suatu tempat ke tempat lainnya. Alat angkut yang sering digunakan di area tambang terbuka adalah alat angkut jenis *dump truck*.

produktifitas alat angkut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \frac{n \times Kb \times Sf \times Ff \times E \times 3600}{Ctm} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

- Q = Produktifitas (m<sup>3</sup>/jam)
- n = Banyak *bucket*
- KB = kapasitas *bucket*
- FF = *Bucket fill factor*
- SF = *Swell factor*
- Ctm = *cycle time* (waktu siklus) (detik)
- E = Efisiensi kerja

**2.7.2 Fill Faktor (Factor Pengisian)**

Menurut Kennedy (2009), *Fill factor* adalah persen dari total kapasitas *bucket* yang benar-benar terisi selama setiap lintasan. Bijih yang kasar dan diledakkan dengan buruk biasanya memberikan pengisian yang rendah faktor. Bijih yang lebih halus dan dasar yang relatif halus akan memberikan faktor pengisian tinggi.

Menurut Oemiati (2020), Faktor pengisian merupakan perbandingan antara kapasitas nyata suatu alat dengan kapasitas baku alat yang dinyatakan dalam persen (%).

$$Fp = \frac{Vn}{Vb} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

- Fp = faktor pengisian atau fill factor, %
- Vn = kapasitas nyata alat, m<sup>3</sup>
- Vb = kapasitas baku alat, m<sup>3</sup>

*Bucket fill faktor* (BFF) merupakan angka atau persentase yang menunjukkan banyaknya isian *bucket* kondisi munjung (*heaped*) dalam sekali siklus. BFF bervariasi tergantung jenis material yang digali. Selain berdasarkan pengamatan, *fill faktor* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



**Tabel 4. Fill factor**

<b>Category</b>	<b>Excavating Condition</b>	<b>Bucket Fill Factor</b>
<i>Easy</i>	<i>Excavating natural ground of clayey soil, soil, clay, or soft soil</i>	1.1-1.2
<i>Average</i>	<i>Excavating natural ground of soil such, as sandy soil</i>	1.0-1.1
<i>Rather difficult</i>	<i>Excavating natural ground of sandy soil with gravel</i>	0.8-0.9
<i>Difficult</i>	<i>Loading blasted rock</i>	0.7-0.8

(Sumber Projosumarto, 1996)

### **2.7.3 Swell Factor (Faktor Pengembang)**

*Swell factor* adalah pengembangan volume material dari keadaan asli (*insitu*) jika digali atau diberai. (Projosumarto, 1996). Bentuk material pada umumnya dibagi menjadi tiga keadaan yaitu keadaan asli (*Bank condition*), keadaan gembur (*Loose condition*), dan keadaan padat (*Compact condition*).

**Tabel 5. Swell factor**

<b>Jenis Material</b>	<b>Densitas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Swell Factor (%)</b>
tanah liat, kering	1,3	80
tanah liat, basah	1,6-1,7	80-82
tanah biasa, kering	1,6	80
tanah biasa, basah	1,9,3	85
batupasir kering	1,3-1,9	89
batupasir basah	1,9-2,1	88
Antrasit	1,8	74
Bituminus	1.3	74
Sub-bituminus	1,5	74

(Sumber Ettinger dan Zhupakhina, 1960)

Faktor pengembangan adalah pengembangan volume suatu material setelah digali. Di alam material didapati dalam keadaan padat sehingga hanya sedikit bagian kosong yang terisi dengan udara diantara butir-butirnya.

$$\text{Swell Factor} = \frac{\text{loose density}}{\text{density in bank}} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

### **2.7.4 Cycle Time**

Menurut Indonesianto (2018), Waktu siklus adalah kemampuan peralatan dalam melakukan satu siklus produksi. Itu waktu sirkulasi alat gali dan muat dan alat angkut sangat berpengaruh terhadap kemampuan produksi dari peralatan tersebut, dimana jika waktu sirkulasi dari masing-masing peralatan besar maka kemampuan produksi akan semakin kecil. Waktu sirkulasi dapat dipengaruhi oleh jalan kondisi, jarak, kondisi mekanik peralatan, keterampilan operator dan lain-lain.

### **Alat Gali Muat**

Menurut Projosumarto (1996), Waktu yang digunakan alat gali muat dalam satu siklus disebut *cycle time*. Setiap alat mekanis mempunyai waktu siklus yang terbagi dalam beberapa proses. proses-proses pada *cycle time* dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$Cycle\ time = Dg + S1 + Dt + Sb.....(10)$$

Keterangan:

Dg = *Digging*

S1 = *swing loading (loaded)*

Dt = *dumping*

Sb = *swing back (empty)*

### **Alat Angkut**

Waktu yang digunakan alat angkut dalam satu siklus disebut *cycle time*. Setiap alat mekanis mempunyai waktu siklus yang terbagi dalam beberapa proses. proses-proses pada *cycle time* dapat diketahui dari persamaan berikut :

$$Cycle\ time = D + M1 + L + H1 + M2 + Dm + H2.....(11)$$

Keterangan:

D = *Delay*

M1 = *Manuver*

L = *Loading*

H1 = *Hauling isi*

M2 = *Manuver 2*

Dm = *Dumping*

H2 = *Hauling kosong*

*Cycle time* (detik) dapat menunjukkan berapa kali siklus yang dilakukan oleh alat gali muat dalam waktu satu jam atau periode tertentu.

### **2.7.5 Efisiensi Kerja**

Dalam waktu satu jam atau satu periode tertentu alat mekanis tidak akan bekerja secara efektif secara terus menerus. Oleh sebab itu perlu diperhitungkan persentase waktu kerja efisien alat tersebut. Pengamatan langsung dapat dilakukan dengan mencatat semua kegiatan *backhoe* dalam satu jam lalu efisensinya dapat diketahui dengan membagi waktu kerja efektif dengan total waktu kerja saat pengamatan.

### **2.7.6 Match Factor**

*Match Factor* adalah faktor keserasian kombinasi alat

antara alat gali muat dengan alat angkut. Nilai *match factor* dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Projosumarto, 1996).

$$MF = \frac{n \times N_h \times C_{tm}}{N_m \times C_{ta}} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan :

- MF : Faktor keselarasan (*Match Factor*)
- n : Jumlah pemuatan *bucket*
- N<sub>h</sub> : Jumlah alat angkut
- C<sub>tm</sub> : Waktu edar alat muat (detik)
- N<sub>m</sub> : Jumlah alat muat
- C<sub>ta</sub> : Waktu edar alat angkut (detik)

**Tabel 6. Match factor**

Nilai <i>Match Factor</i>	Keterangan
MF > 1	kinerja alat muat 100 % sedangkan alat angkut kurang dari 100 % dan menyebabkan terjadinya antrian alat angkut
MF < 1	Kinerja alat gali muat kurang dari 100% menyebabkan alat gali muat menunggu dan kinerja alat angkut 100 %
MF = 1	Keserasian kerja yang sempurna sehingga tidak ada waktu tunggu diantara keduanya

(Sumber Projosumarto, 1996)

Menurut Oemiati (2020), Hubungan kerja yang serasi antara alat muat dan alat angkut dapat terjadi, bila produksi alat muat harus sesuai dengan produksi alat angkut. Faktor keserasian alat muat dan alat angkut ini didasarkan pada produksi alat muat dan alat angkut yang dinyatakan dalam faktor keserasian (*match factor*).

## 2.8 Sistem Penyaliran Tambang

Sistem penyaliran tambang ialah usaha yang bertujuan untuk memberikan pencegahan, pengeringan atau mengeluarkan air yang memasuki wilayah pertambangan. Hal tersebut dilaksanakan untuk mencegah aktivitas penambangan agar tidak terganggu dari air yang banyak terlebih dimusim hujan. Sistem penyaliran ini ditujukan guna agar alat mekanis tidak cepat rusak jadi alat yang digunakan tersebut mempunyai masa pakai yang lebih lama atau awet (Suwandhi, 2004). Penanganannya ini terbagi dua jenis yakni *mine drainage* dan *mine dewatering*. Air dilokasi tambang bisa berasal dari air bawah tanah dan air permukaan.

Penanganan masalah air disuatu tambang terbuka bisa dibagi 2 (Suwandhi, 2004) yaitu:

### 1. *Mine drainage*

*Mine drainage* merupakan cara-cara yang tidak konvensional

untuk mencegah air masuk ke area pertambangan. Ini secara umum digunakan untuk mengolah air dari sumber air permukaan dan air tanah. Cara umum guna mencegah masuknya air permukaan ke wilayah pertambangan ialah dengan membangun parit atau kanal di sekitar tambang atau di permukaan tanah.

#### 2. *Mine dewatering*

*Mine dewatering* ialah upaya mengeluarkan air yang sudah masuk ke area pertambangan. Ini guna melibatkan pengelolaan dari air hujan. Berbagai metode drainase dan *dewatering* tambang ialah sistem kolam terbuka, *drainase*, dan galeri.

### 2.9 Curah Hujan

Curah hujan adalah sekumpulan air yang turun ke permukaan yang dinyatakan dalam milimeter. Curah hujan adalah banyaknya hujan yang terjadi pada suatu daerah. Sumber utama air yang masuk ke daerah penambangan pada tambang terbuka adalah air hujan, sehingga besar kecilnya curah hujan yang terjadi di daerah penambangan tersebut akan mempengaruhi banyak sedikitnya air tambang yang harus diatasi dan dikendalikan (Triadmodjo, 1993).

Pengukuran besarnya curah hujan yang terjadi di daerah penambangan dapat dilakukan dengan alat penakar hujan biasa dan alat penakar hujan otomatis. Dengan alat penakar hujan biasa, pengukuran dilakukan sekali dalam satu hari, biasanya pada jam 07.00 dengan demikian akan dihasilkan curah hujan harian. Dengan alat penakar hujan otomatis dilakukan pengukuran secara terus menerus dan pencatatan dilakukan secara otomatis, sehingga dihasilkan data curah hujan yang akurat. Dalam pengukuran harus diletakkan di tempat terbuka yang bebas dari pengaruh pohon-pohon dan gedung-gedung.

Ilmu statistik menunjukkan bahwa ada berbagai jenis distribusi frekuensinya serta 2 jenis distribusi yang kerap dipakai dalam bidang hidrologi yaitu *annual series*, pengambilan data maksimal per tahun, artinya hanya jumlah maksimal setiap tahun yang dianggap berpengaruh dalam analisis data dan *partial duration series*, yaitu dengan terlebih dahulu menentukan batas bawah curah hujan tertentu, kemudian diambil data di atas batas bawah itu dan digunakan sebagai data untuk analisis (Soewarno, 1995).

#### 2.9.1 Periode Ulang Hujan

Curah hujan biasanya terjadi menurut pola tertentu dimana

curah hujan tertentu biasanya akan berulang pada periode tertentu yang dikenal dengan periode ulang hujan. Periode ulang hujan didefinisikan sebagai waktu dimana curah hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu. Misalnya periode ulang hujan 10 tahun, maka peristiwa yang bersangkutan (hujan, banjir) akan terjadi rata-rata sekali setiap periode 10 tahun. Terjadinya peristiwa tersebut tidak harus 10 tahun, melainkan rata-rata sekali setiap periode 10 tahun, misal 10 kali dalam periode 100 tahun, 25 kali dalam periode 250 tahun dan seterusnya. Periode ulang ini memberikan gambaran bahwa semakin besar periode ulang semakin tinggi curah hujannya. Penetapan periode ulang hujan sebenarnya lebih ditekankan pada masalah kebijaksanaan yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan. Pertimbangan dalam penentuan periode ulang hujan tersebut adalah risiko yang dapat ditimbulkan bila curah hujan melebihi curah hujan rencana (Suwandhi, 2004).

### 2.9.2 Curah Hujan Rencana

Dalam perancangan sistem penyaliran untuk air permukaan pada suatu tambang, hujan rencana merupakan suatu kriteria utama. Hujan rencana adalah hujan maksimum yang mungkin terjadi selama umur dari sarana penirisan tersebut. Hujan rencana ini ditentukan dari hasil analisa frekuensi data curah hujan, dan dinyatakan dalam curah hujan dengan periode ulang tertentu. Salah satu metode dalam analisa frekuensi yang sering digunakan dalam menganalisa data curah hujan adalah metode distribusi ekstrim, atau juga dikenal dengan metode distribusi Gumbel (Suwandhi, 2004).

Perkiraan nilai curah hujan rencana dapat ditentukan dengan Formula Extreme Value E.J Gumbel untuk mendapatkan perkiraan curah hujan. (Persamaan 2.1.) (Soewarno, 1995).

$$X_t = \bar{x} + \frac{s}{s_n} (y - y_n) \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

$X_t$  = Curah hujan rencana dalam periode ulang T tahun (mm)

$\bar{x}$  = Curah hujan rata rata (mm)

S = Simpangan Baku (*Standar deviation*)

$s_n$  = Standar deviasi dari reduksi *variate*, nilainya tergantung jumlah data

$Y_t$  = nilai reduksi *variate* dari variabel yang diharapkan terjadi pada

periode ulang tertentu

$Y_n$  = Koreksi rata-rata (*reduced mean*)

1. Tentukan curah hujan rata-rata dengan rumus :

$$\bar{x} = \frac{\sum CH}{n} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

$\bar{x}$  = Rata-rata nilai data

$\sum CH$  = Jumlah nilai data

$n$  = Jumlah data

2. Simpangan baku dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x-x_i)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

$S$  = Standar deviasi

$x$  = Nilai rata-rata curah hujan

$x_i$  = Curah hujan maksimum pada tahun  $x$

$n$  = jumlah data

3. Nilai reduksi variat dihitung dengan menggunakan rumus (Soewarno, 1995):

$$Y_t = -\ln[-\ln\{T-1\}]/T \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan :

$Y_t$  = Koreksi varians

$T$  = Periode ulang hujan

4. Koreksi rata-rata (Reduced mean) menggunakan rumus (Soewarno, 1995):

$$Y_n = -\ln \left[ -\frac{\{n+1-m\}}{n+1} \right] \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan :

$Y_n$  = Koreksi rata-rata (*reduced mean*)

$n$  = Jumlah data

$m$  = Urutan data (1,2,3)

5. Nilai koreksi simpangan (*reduced standard deviation*) ditentukan dengan rumus (Soemarto, 1987) :

$$S_n = \sqrt{\sum(Y_n - Y_N)/(n-1)} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan :

$S_n$  = Standar deviasi dari reduksi variate, nilainya tergantung jumlah data

$Y_n$  = Koreksi rata-rata (*reduced mean*)

$Y_N$  = Nilai rata-rata  $Y_n$

$n$  = Jumlah data

### 2.9.3 Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam jangka waktu tertentu, dan dinyatakan dalam mm persatuan waktu. Dengan kata lain bahwa intensitas curah hujan menyatakan besarnya curah hujan dalam jangka pendek yang memberikan gambaran derasnya hujan perjam. Untuk mengelola data curah hujan menjadi intensitas hujan digunakan cara statistik dari data pengamatan curah hujan yang terjadi (Suripin, 2003).

Besarnya intensitas hujan yang kemungkinan terjadi dalam kurun waktu tertentu dihitung berdasarkan persamaan Mononobe, yaitu:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

R<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum harian (mm/hari)

T = Durasi hujan rencana (jam)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

**Tabel 7.** Hubungan derajat hujan dan intensitas curah hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Hujan Sangat Ringan	<1	< 5
Hujan Ringan	1-5.	5-20.
Hujan Normal	5-10.	20-50.
Hujan Lebat	10-20.	50 - 100
Hujan Sangat Lebat	>20	> 100

(Sumber Suripin, 2004)

### 2.9.4 Daerah Tangkapan Hujan (*Catchment Area*)

Daerah tangkapan hujan (*catchment area*) merupakan suatu areal atau daerah tangkapan hujan dimana batas wilayah tangkapannya ditentukan dari titik-titik elevasi tertinggi sehingga akhirnya merupakan suatu poligon tertutup yang mana polanya disesuaikan dengan kondisi topografi, dengan mengikuti kecenderungan arah gerak air (Suwandhi, 2004).

Dengan pembatasan *catchment area* maka diperkirakan setiap debit hujan yang tertangkap akan terkonsentrasi pada elevasi terendah pada *catchment area* tersebut. Pembatasan *catchment area* biasa dilakukan pada peta topografi dan untuk perencanaan sistem penyaliran dianjurkan dengan menggunakan peta rencana penambangan dan peta situasi tambang. Daerah tangkapan hujan dibatasi oleh pegunungan dan bukit-bukit yang diperkirakan akan

mengumpulkan air hujan sementara (Soewarno, 1995).

### 2.9.5 Air Limpasan

Limpasan adalah semua air yang mengalir di permukaan tanah akibat hujan, yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, memperlihatkan asal atau jalan yang ditempuh sebelum mencapai saluran. (Endriantho et al, 2013). Laju aliran air limpasan bisa diketahui dengan persamaan metode rasional berikut :

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan :

- Q = Debit limpasan (m<sup>3</sup>/detik)
- C = Koefisien limpasan (Tabel 2)
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas *catchment area* (km<sup>2</sup>)

Koefisien limpasan ialah bilangan yang memperlihatkan bandingan besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujannya yang berlangsung disetiap area tangkapan hujan, koefisien limpasan pada tiap daerah berbeda (Amin, 2002). Koefisien limpasan dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu faktor- faktor tutupan tanah, kemiringan lahan, intensitas hujan dan lamanya hujan.

**Tabel 8.** Koefisien limpasan

Kemiringan	Jenis lahan	Koefisien Limpasan (C)
>3% (datar)	Sawah, rawa	0,2
	Hutan, perkebunan	0,3
	perumahan	0,4
3%-15% (Sedang)	Hutan, perkebunan	0,4
	perumahan	0,5
	semak-semak agak jarang	0,6
	Lahan terbuka daerah tambang	0,7
	hutan	0,6
>15% (Curam)	perumahan	0,7
	semak-semak agak jarang	0,8
	Lahan terbuka daerah tambang	0,9

(Sumber Amin, 2002)

### 2.9.6 Air Tanah

Air tanah adalah air yang meresap ke dalam tanah lalu bergerak di dalam tanah yang terdapat didalam ruang antar butir-butir tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer (Sosrodarsono, 1993). Debit air tanah bisa dihitung dengan mencari selisih waktu air ketika pompa dihidupkan dan dimatikan, kenaikan permukaan air *sump* serta luas permukaan pada saat pompa dihidupkan dan dimatikan (Soemarto, 1987).



$$Q = h \frac{\left[\frac{L_1+L_2}{2}\right]}{\Delta t} \dots\dots\dots(21)$$

Keterangan :

Q = Debit air tanah (m<sup>3</sup>/jam)

Δt = Selisih waktu pompa dimatikan dan dihidupkan kembali (jam)

H = Kenaikan permukaan air *sump* (m)

L1 = Luas permukaan air pada saat pompa dimatikan (m<sup>2</sup>)

L2 = Luas permukaan air pada saat pompa dihidupkan (m<sup>2</sup>)

## 2.10 Rancangan Sistem Penyaliran Tambang

### 2.10.1 Perencanaan Kolam Penampungan (*Sump*)

*Sump* atau sering disebut dengan kolam penampung merupakan tempat yang dibuat untuk menampung air sebelum air tersebut dipompakan. Kolam penampung ini juga dapat berfungsi sebagai tempat mengendapkan lumpur. Tata letak kolam penampung dipengaruhi oleh sistem drainase tambang yang digunakan serta disesuaikan dengan letak geografis daerah tambang dan kestabilan lereng tambang (Syukriadi, 2005).

$$V = Q \times t \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan:

V = Volume *sump* rekomendasi (m<sup>3</sup>)

Q = Debit air yang masuk waktu dengan konsentrasi selama 3 hari (m<sup>3</sup>)

T = Durasi hujan (jam/hari)

Pada umumnya, bentuk *sump* yang sering digunakan pada lokasi tambang yaitu *sump* berbentuk trapesium (*inverted trapezium*) dikarenakan mudah dalam pembuatannya, Penentuan volume *sump* didasarkan atas bentuk *sump* itu sendiri. Rumus volume *inverted trapezium* dihitung menggunakan persamaan rasional :

$$V = \frac{1}{2} \times (P_1+P_2) \times t \times L \dots\dots\dots(23)$$

Keterangan :

V = Volume *sump* (m<sup>3</sup>)

P1 = Panjang atas (m)

P2 = Panjang bawah (m)

t = Kedalaman (m)

L = Lebar *sump* (m)

Menurut (Suwandhi, 2004) *Sump* bisa dibedakan berbagai jenis, yaitu :

#### 1. *Travelling Sump*

*Travelling Sump* dibangun di area depan tambang, tujuan dari *sump* ini ialah untuk menghadapi air permukaan, baik secara

terencana yang digambarkan pada peta jangka pendek atau tidak terencana sebelumnya. periodenya menggunakan *sump* cukup singkat dan diposisikan berdasarkan pada kemajuan tambang.

## 2. *Sump* Jenjang

*Sump* Jenjang dibangun berdasarkan perencanaan untuk memilih lokasi dan volumenya. Penempatan poros ini berada dipermukaan tambang dan umumnya pada lereng- lereng tepi tambang. *Sump* Jenjang dirancang untuk periode yang tidak sebentar dan umumnya terbuat dari bahan yang kedap air yang bertujuan dalam mencegah masuknya air yang bisa membuat jenjang tambang longsor. *sump* ini dibagi menjadi dua bagian, bagian pertama untuk menampung air kotor yang berasal dari *sump* front berfungsi sebagai tempat penampungan lumpur dan bagian lainnya sebagai tempat penampungan air bersih yang berasal dari bagian *sump* yang pertama kemudian dialirkan ke paritan pelimpah.

## 3. *Main Sump*

*Main Sump* dibuatkan sebagai tempat menampung air terakhir dan dapat digunakan sebagai cadangan air untuk digunakan dalam pengaman kebakaran. Secara umum *sump* ini dibuat pada elevasi paling rendah dari dasar tambang.

### 2.10.2 Pemompaan dan pemipaan

- **Pompa**

Pompa ialah alat pengangkut yang fungsinya agar cairan dari satu tempat ke tempat lainnya pindah. Penggunaan pompa dalam sebuah tambang ialah untuk membuang air yang masuk kedalam daerah penambangan. Jenis pompa yang banyak dipakai dikegiatan *drainase* tambang ialah pompa *sentrifugal* Pompa *sentrifugal* banyak dipakai dipertambangan sebab bisa mencapai *head of discharge* yang tinggi (Suripin, 2004).

Terkadang sebuah pompa memerlukan debit atau *head* yang tinggi, sementara tiap pompa mempunyai kapasitas dalam mencapai debit atau *head* tertentu. Oleh sebabnya, dua ataupun lebih pompa dapat dikonfigurasi guna dipasangkan secara bersamaan. yang berisi dari sambungan paralel serta sambungan seri (Sularso dan Tahara, 2000).

*Head* pompa adalah energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari *suction* ke *discharge*. Fluida yang dipindahkan adalah fluida

incompresibel atau fluida yang tidak dapat dimampatkan.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas pompa seperti beda elevasi antara tempat penampungan dengan tempat pembuangan, kecepatan fluida yang mengalir, gesekan antara fluida dengan pipa, belokan-belokan dan perubahan aliran yang terjadi, densitas cairan, dan ukuran butiran material dalam cairan.

Penentuan daya pompa yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{Q \times H \times \gamma \times g}{3,6 \times 1000 \times E}$$

Keterangan :

P = Daya pompa (KWh)

Q = Kapasitas pompa (l/s)

H = Head pompa (m)

Y = Berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

E = Efisiensi pompa, dinyatakan dalam decimal

Perhitungan debit aktual menggunakan *outlet* suatu pompa dapat dihitung dengan pengukuran jauh tembakan *outlet* pompa serta diameter pipa. Perhitungan debit pompa aktual dapat dilakukan dengan menggunakan Metode *Discharge*. Langkah kerja metode ini yaitu dengan membuat alat ukur berbentuk "L" (Cassidy, 1973) Kemudian data data yang telah didapatkan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{d^2 \times x \times \pi}{4 \sqrt{2y/g}} \times 3600 \dots \dots \dots (24)$$

Keterangan:

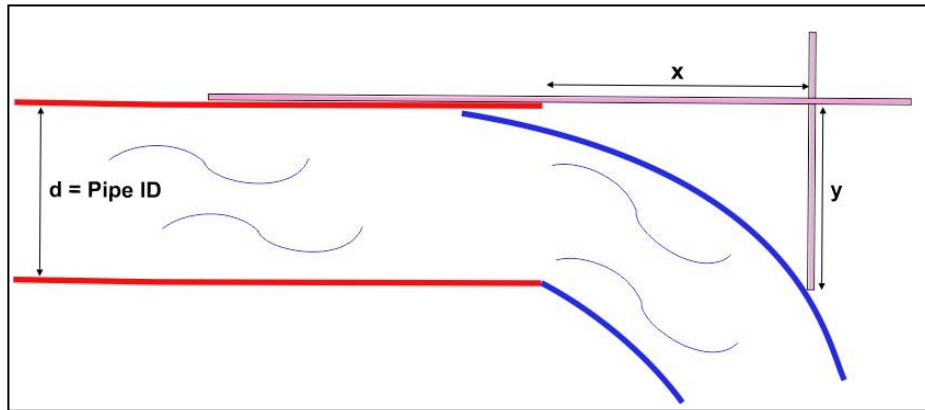
Q = Debit Pemompaan (m<sup>3</sup>/jam)

d = Diameter dalam pipa (m)

g = Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

x = Jarak Lontaran Air (m)

y = Tinggi Lontaran Air (m)



**Gambar 14. Metode Discharge**  
(Sumber Cassidy, 1973)

- **Pipa**

Pipa adalah suatu alat yang dipakai untuk menyalurkan air dengan bantuan pompa. Kapasitas pipa tergantung dari luas penampang pipa tersebut dan kecepatan alirannya. Kecepatan aliran pipa dapat diketahui apabila diketahui debit air yang dikeluarkan per satuan waktu dan luas penampang dari pipa yaitu dengan rumus:

$$Q = v \times A \dots \dots \dots (25)$$

Keterangan :

Q= Debit air (m<sup>3</sup>/dtk)

A= Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

v = Kecepatan aliran air (m/dtk)

Adapun perhitungan julang (*head*) total pompa menggunakan persamaan berikut:

$$H = H_s + H_v + H_f + H_b \dots \dots \dots (26)$$

Dimana:

1. *Static Head (H<sub>s</sub>)*

*Static head* adalah kehilangan energi yang disebabkan oleh perbedaan tinggi antara tempat penampungan dengan tempat pembuangan. Persamaan yang dipakai untuk menghitung nilai H<sub>s</sub>, adalah:

$$H_s = H_2 - H_1 \dots \dots \dots (27)$$

Keterangan :

H<sub>s</sub> = *Head statis* (m)

H<sub>2</sub> = Elevasi tempat pembuangan (m)

H<sub>1</sub> = Elevasi tempat penampungan (m)

## 2. Velocity Head ( $H_v$ )

*Velocity Head* adalah kehilangan yang diakibatkan oleh kecepatan air yang melalui pompa.

$$H_v = \frac{v^2}{2 \times g} \dots \dots \dots (28)$$

Keterangan :

$v$  = Kecepatan aliran air didalam pipa (m/s)

$g$  = Gaya gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

## 3. Friction Head ( $H_f$ )

*Friction Head* adalah kehilangan head akibat gesekan air yang melalui pipa dengan pipa karena adanya pengaruh kekasaran dari dinding pipa, yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H_f = f \left( \frac{L \times v^2}{2 \times d \times g} \right) \dots \dots \dots (29)$$

Keterangan :

$f$  = Koefisien belokan

$L$  = Panjang pipa (m)

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$v$  = Kecepatan aliran air didalam pipa (m/s)

$g$  = Gaya gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

## 4. Head Belokan ( $H_b$ )

*Head* belokan adalah kehilangan *head* akibat adanya belokan pipa dan berpengaruh terhadap laju air yang melalui pipa, yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H_b = k \frac{v^2}{2 \times g} \dots \dots \dots (30)$$

Keterangan :

$k$  = Koefisien kerugian pada pipa

$v$  = Kecepatan aliran air didalam pipa (m/s)

$g$  = Gaya gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.11 Penjadwalan Produksi (*Sequence*)

Menurut Bargawa (2018), tahapan penambangan merupakan bentuk-bentuk penambangan yang menunjukkan bagaimana suatu *pit* dari awal sampai akhir penambangan. Tahapan penambangan juga disebut *push back*, *phase*, *slice* dan *stage*. Tujuan dari tahapan penambangan yaitu untuk menyederhanakan semua volume yang terdapat didalam *pit* menjadi unit-unit *pit* yang lebih sederhana atau kecil sehingga memudahkan penambangan. Dalam merancang tahapan

penambangan, parameter waktu sangat diperhitungkan, karena waktu adalah parameter yang sangat berpengaruh dalam proses menjadwalkan (*mine scheduling*) untuk mengoptimalkan target produksi.

Metode sequence perluasan dari tambang dilakukan pada serangkaian fase, yang disebut sebagai *pushback*. Geometri *pushback* ditentukan berdasarkan pada faktor geometri endapan, target finansial, peralatan penambangan, target produksi, dan rancangan penambangan jangka panjang. Metode *Pushback* terbagi atas secara konvensional atau sekuensial (McCarter, 1992).

1. Metode blok sekuensial menerus secara bersamaan pada beberapa level elevasi, sedangkan metode *pushback* konvensional menambang suatu luasan horizontal hingga level elevasi *pushback* sebelum melanjut ke elevasi berikutnya. Zona sekuen *pushback* yang berbeda terpisah oleh jalan angkut
2. Semua aktivitas terkonsentrasikan pada satu level dibandingkan sejumlah level aktif pada *pushback* sekuensial. Metode *pushback* sekuensial membutuhkan perencanaan yang lebih kompleks dibandingkan *pushback* konvensional. Namun, mengembangkan beberapa area secara bersamaan memberikan fleksibilitas selama proses penggalian, dan kontrol perencanaan produksi. Lebih lanjut, *pushback* sekuensial terdiri dari sejumlah jenjang aktif dengan sudut jenjang kerja yang lebih rendah dari kemiringan jenjang akhir, membuat stabilitas lereng yang lebih baik

Menurut Thompson (2005), Penentuan arah kemajuan sequence penambangan umumnya berdasarkan arah kemenerusan batubara (*strike*) dan kemiringan endapan batubara (*dip*) yang dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Sejajar dengan batas outcrop batubara atau *strike*, maju searah turunan down dip (*low wall to high wall*).
2. Sejajar dengan *strike* endapan batubara, maju searah naikan up-dip (*high wall to low wall*).
3. Sejajar dengan *dip* endapan batubara, maju sepanjang arah *strike*.
4. Arah menyerong.

Menurut Parhusip (2021), penjadwalan tambang ialah tahap-tahap kegiatan penambangan yang menjelaskan cara bagaimana suatu *pit* akan ditambang dari bentuk awal sampai *pit final*. Adapun tujuan dari pembuatan tahapan penambangan yaitu untuk membagi seluruh volume yang ada dalam *pit* (lapisan tanah penutup dan bahan galian) menjadi unit-unit perancangan yang lebih kecil (*panel/strip*) sehingga mudah untuk dilakukan perancangan. Proses penjadwalan produksi dapat ditentukan setelah dilakukan perhitungan cadangan pada area yang akan dilakukan penjadwalan produksi yang memenuhi prasyarat *stripping ratio (pit limit)*.

Terdapat beberapa tujuan dari penjadwalan produksi, Yaitu :

- a. Menentukan jadwal produksi seperti periode tahunan, 3 bulanan, bulanan dan juga mingguan.
- b. Menentukan bagaimana urutan penggalian, penimbunan *Disposal* dan pembuatan jalan yang mengacu pada *mine Design*.
- c. Membuat desain situasi penambangan dengan periode tersebut.

Penjadwalan produksi tambang dirancang berdasarkan periode waktu tertentu. Data yang harus diketahui ialah data tonase batubara, *Overburden*, dan pemindahan material total dari area penambangan. Prinsip dasar penjadwalan produksi adalah dapat memperoleh material sebanyak mungkin dengan biaya semurah mungkin. Terdapat beberapa evaluasi yang dilakukan ada saat proses penjadwalan produksi, yaitu besar target produksi lapisan tanah penutup dan batubara, jadwal pengupasan tanah penutup, jadwal penambangan dan strategi pemenuhan target kualitas batubara dan material yang ditambang (Bargawa, 2008).

Menurut Bargawa, 2008), asumsi awal yang digunakan untuk menentukan penjadwalan produksi ialah :

- Besaran target produksi batubara dapat berubah berdasarkan waktu
- Penjadwalan dirancang sebagai strategi untuk mengevaluasi berubahnya besaran target produksi batubara.

Dua asumsi tersebut bisa mempengaruhi jadwal

pengupasan *Overburden* sebelum *coal expose*. Penjadwalan produksi berfungsi untuk menentukan kombinasi alat mekanis pada blok-blok penambangan di area *pit* dengan dasar jam kerja. Penjadwalan produksi pada periode kurang dari satu bulan, akan menekankan apa saja hal yang harus tercapai dalam rentan waktu tersebut. Rencana produksi harus dilaksanakan dengan batasan dari perencanaan *short term* dan dievaluasi atau diperbaiki setiap hari atau lebih sering untuk merekomendasikan perubahan kombinasi alat mekanis dan blok-blok penambangan bahan galian dan *waste* baru yang disiapkan untuk kegiatan penambangan.

Penjadwalan tambang merupakan salah satu bagian dari perencanaan tambang. Setelah pemodelan geologi, blok pemodelan level, penentuan *Striping ratio* (SR) atau *Cut-off grade* (COG), hingga desain *pit-limit*, penjadwalan menjadi sangat penting untuk menentukan kegiatan penambangan pada tahun berikutnya. Tujuan utama dari penjadwalan adalah untuk mendapatkan *Net present value* (NPV) seoptimal mungkin. Dengan cara yang sama, the tujuan penjadwalan adalah memanfaatkan keuntungan semaksimal mungkin dengan yang terkecil biaya operasi (Hustrulid dan Kuchta, 1995).

## **2.12 Rancangan Penimbunan**

Faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pemindahan lapisan tanah penutup ialah keseimbangan material (*material balance*). Material balance berhubungan dengan penimbunan material *Overburden* ke area penimbunan (*Disposal*) dengan memperhatikan jenis material untuk memaksimalkan ruang *Disposal*. Beberapa langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *material balance*, antara lain :

- a. Membuat desain *pit* & *Disposal* untuk merencanakan penempatan material.
- b. Melakukan taksiran terhadap volume material terambil dan luasan area penimbunan yang tersedia.
- c. Pemilihan lokasi pemuatan di *pit* dan lokasi penumpahan material di area penimbunan sesuai dengan rancangan dan volume yang diinginkan.

Setelah itu dapat ditentukan jarak pengangkutan material *Waste dump* area dibagi menjadi dua, yaitu :



a. *In pit dump* (IPD)

lokasi penimbunan material lapisan tanah penutup pada daerah penambangan yang sudah selesai tambang.

b. *Out pit dump* (OPD)

lokasi penimbunan material tanah penutup berada diluar area *pit limit*.

Rencana lokasi dan rancangan *waste dump* akan berpengaruh terhadap kombinasi alat meknis yang digunakan dan *match factor* dari kombinasi tersebut. Luasan area yang digunakan untuk *waste dump* pada umumnya luasnya 2–3 kali dari luas area penambangan (*pit*) (Sunarno, 2008). Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Material yang diberai (*loose material*) akan berkembang 30–45 % dari material in situ (*swell factor*).

b. Sudut miring jenjang lebih landai daripada *pit*.

Material lapisan tanah penutup tidak bisa ditumpuk setinggi kedalaman *pit* penambangan.

### **2.13 Perangkat lunak (Software)**

Pemanfaatan *Software* merupakan instruksi dari Peraturan menteri dari Kementerian ESDM No.26 Tahun 2018 Pasal 3, yang menjelaskan pentingnya kemajuan didalam pemanfaatan dan penerapan teknologi dalam operasi tambang.

Ada beberapa contoh *Software* yang biasa digunakan dalam perencanaan dan perancangan penambangan seperti *Software Minescape*, *Arcgis*, *Spry*, dan *office*.

1. *Minescape*

*Minescape* adalah salah satu produk dari perusahaan yang berada di Australia yang memiliki *software mine planning & scheduling*. Fungsi *minescape* adalah sebagai solusi eksplorasi, permodelan desain tambang, perencanaan produksi, dan *scheduling*.

2. *Arcgis*

*ArcGis* merupakan temuan *ESRI (Environment Science and Research Institute)* di California. Aplikasi ini berkaitan dengan kegiatan sistem informasi geografis. Dalam penggunaannya, *ArcGis* mempunyai fitur penting seperti untuk kegiatan pembuatan tampilan peta, pengumpulan data lapangan, dan data spasial.

### 3. *Spry*

*Spry* adalah *Software* yang biasanya digunakan untuk melakukan Penjadwalan produksi pada pertambangan yang dimana dapat membagi dan menghitung perbedaan ataupun selisih produksi.

### 4. *Microsoft Office*

*Microsoft Office* adalah salah satu *software* yang dibuat oleh perusahaan *Microsoft* pada tahun 1988. *Software* ini sangat sering digunakan dalam dunia kerja karena praktis dan mudah dipakai, serta tidak membutuhkan teknologi yang canggih untuk bisa dioperasikan.

### 5. *Slide*

*Software* yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng ini adalah *slide*. *Software* ini dapat merancang desain geometri jenjang yang meliputi tinggi dan kemiringan jenjang tambang beserta tingkat faktor keamanannya. Hasil analisis yang diperoleh akan dijadikan dasar untuk membuat model desain tambang yang aman bagi lingkungan.

## 2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah salah satu cara untuk mencari sumber referensi atau sebagai perbandingan pada penelitian sebelumnya.

**Tabel 9.** Penelitian terdahulu

No	Penulis	Perihal	Keterkaitan
1	(Pradana, kopa, & Yulhendra, 2020)	Estimasi sumberdaya	membahas keterkaitan Estimasi sumberdaya batubara terukur
2	(Putra & Yulhendra, 2020)	Optimalisasi kemajuan tambang	Membahas tentang bagaimana membuat rancangan <i>sequence</i> penambangan
3	(saputra, asof & wiwik, 2021)	teknis penambangan	membahas tentang keterkaitan teknis penambangan
4	(Suprianto dan hariyadi, 2019)	rancangan teknis desain <i>sequence</i>	Membahas keterkaitan rancangan teknis desain <i>sequence</i>
5	(Prasakto, Nurhakim, Riswan & Putri, 2020)	Perencanaan penambangan	Membahas keterkaitan perencanaan penambangan batubara

(Sumber Penulis, 2023)