

ANALISIS KESTABILAN PILLAR PADA METODE PENAMBANGAN AUGER MINING, BERDASARKAN PERSAMAAN OBERT-DUVALL PADA SEAM 22 PIT S17GS PT. KITADIN EMBALUT SITE, KECAMATAN TENGGARONG SEBERANG, KUTAI KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR

(Pillar Stability Analysis In Auger Mining, Based On The Equation of Obert-Duvall At Seam 22 Pit S17GS PT. Kitadin Embalut Site, Tenggarong Seberang Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province)

Desi Anggriani, Shalaho Dina Devy, Tommy Trides
Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda
ddanggriani94@gmail.com

Abstrak

Terdapat dua jenis pillar pada auger mining yakni web pillar untuk menopang tinggi runtuh dari overburden dan barrier pillar untuk menopang bukaan utama pillar. Agar stabil maka perlu dianalisis geometri pillar antar lubang bukaannya seperti lebar web pillar, lebar barrier pillar, lebar panel, lebar septum dan diameter auger. PT Kitadin Site Embalut, yakni pada Pit S17GS seam 22 dengan jumlah cadangan 11.900 MT, direncanakan penambangan auger mining sistem double pass dengan jarak penetrasi maksimum 80 m. Jarak antar spasi (septum) adalah 0,5 m, estimasi jarak rata-rata dari coal roof dan coal floor adalah 0,4 m dengan diameter auger 1,3 m dan tinggi pertambangannya 3,1 m. Analisis kestabilan pillar yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis empiris terhadap kekuatan massa batuan dengan menggunakan persamaan Obert-Duvall. Dengan menggunakan data GSI (sampel silinder), data uji kuat tekan (sampel kubus), data hasil simulasi perhitungan, maka akan didapat nilai konstanta material (m_i), rock mass rating (RMR), dan tinggi runtuh. Selanjutnya lebar pillar antar lubang bukaan (jarak web pillar dan barrier pillar) yang digunakan akan disimulasi lagi sehingga didapatkan faktor keamanan yang diinginkan yakni 1,21. Berdasarkan hal tersebut dengan analisa sampel kubus sebagai data primer, rekomendasi desain yang sesuai untuk PT. Kitadin adalah berikut: lebar web pillar optimum adalah 0,96 m dengan overburden thickness yang dapat ditahan oleh web pillar adalah 21,9 m dan lebar barrier pillar optimum adalah 9,27 m dengan mining height 28,52 m dimana lebar panel adalah 19,380 m yang terdiri atas 8 web pillar.

Kata Kunci : *Auger mining, metode empiris, Obert-Duvall, web pillar, barrier pillar*

Abstract

There are two types of pillars in auger mining namely web pillar to support high collapse of overburden and barrier pillar to support the main entries. In order to stabilize, it is necessary to analyze the geometry pillar of that entries such as the width of web pillar, barrier pillar, panel, septum, and the auger diameter. In PT. Kitadin Embalut site at Pit S17GS seam 22 with coal reserve amount of 11.900 MT, planned double pass system of auger mining with maximum penetration distance of 80 m. The distances between spaces (septum) is 0,5 m, estimation mean distance from the coal roof to the coal floor is 0,4 m, the auger diameter is 1,3 m, and the height of entry is 3,1 m. Pillar stability analysis that used in this research is empirical analysis to rock mass strength by using Obert-Duvall equation. By using GSI data (cylinder samples), compressive strength test data (cube samples), the data of the simulation results, we will get the value of material constant (m_i), rock mass rating (RMR), and the high of collapse. Furthermore the width of the entries (web pillar and barrier pillar) will be simulated again to obtain the desired safety factor. Based on the above statements with the cube sample analysis as the primary data, the design recommendations for PT. Kitadin are: optimum web pillar width is 0,96 m with overburden thickness that can be supported by that web pillar is 21,9 m, optimum barrier pillar width is 9,27 m with mining height 28,52 m, and the panel width is 19,38m which consists of 8 web pillars.

Keyword: *Auger mining, empirical method, Obert-Duvall, web pillar, barrier pillar*

PENDAHULUAN

Auger mining adalah metode tambang terbuka untuk bahan galian misalnya batubara,

yang dilakukan pada dinding-dinding *ultimate pit limit* dengan menggunakan alat berupa bor raksasa. Dengan kondisi kerja yang seperti itu,

sangat diperlukan ketelitian dalam menentukan geometri *pillar* antar lubang bukaannya.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui korelasi dan nilai kuat tekan sampel silinder dan kubus dalam menentukan desain *pillar* optimum, serta mengetahui lebar *web pillar* dan *barrier pillar* optimum.

Penelitian dilakukan di PT. Kitadin Embalut Site, Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis terletak di antara garis lintang 00°18'25,8"LS – 0°22'55,77"LS sampai pada garis bujur 117°5'00.0"BT – 117°7'4"BT dengan luas area konsesi pertambangan 2.973,6 Ha.

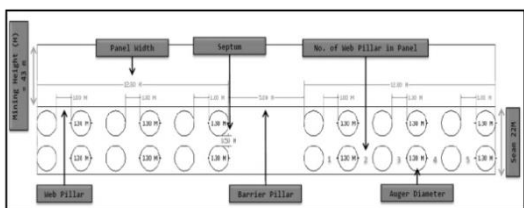
TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Menurut Syd S. Peng dalam *Coal Mine Ground Control Pillar*, *pillar* batubara adalah bagian dari batubara yang tersisa/ tertinggal pada dinding *highwall* yang difungsikan untuk menopang *overburden* dan menjaga kestabilan lubang bukaan.

Geometri *pillar* terdiri atas:

- a. *Web pillar* (*pillar* di antara dua bukaan *auger*, yang menopang tinggi runtunan *overburden*)
- b. *Barrier pillar* (*pillar* di antara dua bukaan *auger*, yang menopang tinggi runtunan *mining height*)
- c. *Panel width* (panjang 1 panel *web pillar* yang dipisahkan oleh *barrier pillar*)
- d. *Septum* (jarak vertikal antara bukaan *auger*)
- e. *Auger diameter* (diameter bukaan *auger*)



Gambar 1. Geometri *Pillar* (PT. Kitadin Site Embalut)

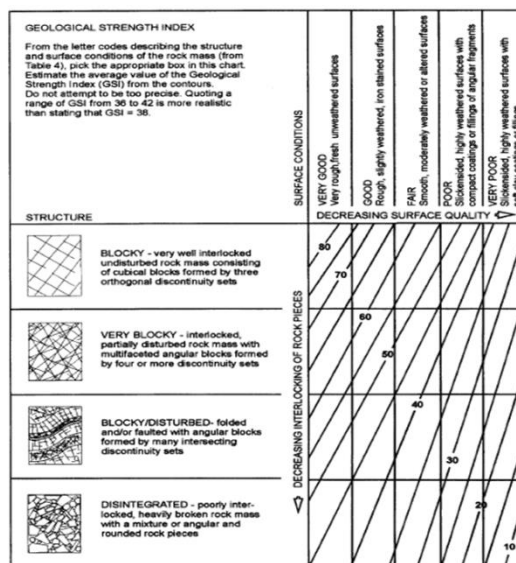
Dasar Teori

Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik batuan antara lain bobot isi asli, bobot isi kering, bobot isi jenuh, berat jenis semu, berat jenis sejati, kadar air asli, *saturated water content* (*absorption*), derajat kejenuhan, porositas, dan *void ratio*. Sifat mekanik batuan antara lain kuat tekan (*UCS*), kuat tarik, dan uji triaksial.

Geological Strength Index

Menurut Wyllie dan W. Mah (2003), *geological strength index* (*GSI*) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memperkirakan pengurangan kekuatan massa batuan pada kondisi geologi yang berbeda.



Gambar 2. Estimate of Geological Strength Index *GSI* based on geological descriptions (Brown and Hoek, 1997)

Pengaruh Bentuk (*shape effect*) dan Ukuran (*size effect*) terhadap Kekuatan Batubara

Kekuatan contoh batuan dipengaruhi nisbah panjang terhadap diameter contoh batuan (*l/d*) dan akan menurun seiring naiknya nisbah tersebut.

Size Effect

Penelitian di Amerika Serikat menunjukkan bahwa efek skala dari sifat batubara yang berasal dari uji laboratorium, bisa didapat dengan persamaan:

$$\sigma_{cube} = \frac{k}{36^{1/2}} \tag{2.1}$$

$$\sigma_{cube} = \frac{k}{h^{1/2}} \tag{2.2}$$

$$k = \sigma_c(D)^{1/2} \tag{2.3}$$

dengan

σ_c = nilai *UCS* percontoh batubara yang di uji di laboratorium (*psi*)

D = diameter/ dimensi kubus (*inch*)

Persamaan diatas diterapkan pada *pillar* berbentuk kubus. Persamaan 2.1 apabila ketinggian (*h*) lebih dari 36 *inch* (0,9m), persamaan 2.2 pada ketinggian (*h*) kurang dari 36 *inch* (0,9m).

Shape Effect

Persamaan kekuatan *pillar* yang paling umum digunakan.

a. Obert-Duvall

$$\sigma_p = \sigma_{cube} (0,778 + 0,222 w/h) \tag{2.4}$$

b. Holland-Gaddy

$$\sigma_p = k [w/h^{1/2}] \tag{2.5}$$

c. Holland

$$\sigma_p = \sigma_{cube} [w/h^{1/2}] \tag{2.6}$$

d. Salomon-Munro

$$\sigma_p = 1,320 w^{0,46} / h^{0,66} \quad (2.7)$$

e. Bienawski

$$\sigma_p = \sigma_{cube} (0,64 + 0,36 w/h) \quad (2.8)$$

Korelasi Sampel Silinder dan Sampel kubus

Berdasarkan persamaan desain *pillar* Holland – Gaddy, terdapat korelasi antara sampel *intact* berbentuk silinder dan sampel *intact* berbentuk kubus (Holland-Gaddy, 1950 dalam Townsend dkk) . Persamaannya yakni:

$$S = \frac{K\sqrt{L}}{T} \quad (2.9)$$

dengan

S = *ultimate coal pillar strength (psi)*

L = *least lateral dimension of the coal pillar (in)*

T = *mining height (in)*

K = *a material constant*

Dimana konstanta material (k), ditentukan dengan persamaan Gaddy berikut:

$$S_c = \frac{K}{\sqrt{d}}$$

dengan

S_c = *kuat tekan sampel berbentuk kubus (psi)*

K = *a material constant*

d = *edge length of the cubical coal specimen (in)*

Hal ini kemudian dikuatkan oleh Medhurst dan Brown dengan penelitian yang dilakukan diketahui bahwa sampel silinder cenderung memiliki kekuatan 20%-30% lebih kecil daripada sampel berbentuk kubus dengan dimensi ukuran yang sama (Brown and Medhurst, 1998).

Persamaan Empiris Pillar Batubara

Pillar Load

Dengan membuat asumsi penyederhanaan dimana distribusi tekanan dianggap seragam pada pertambangan secara umum, maka beban pillar rata-rata dapat ditentukan dengan persamaan:

$$S_p = [1,1 H(w + B)(L + B)] / (w \times L)$$

dengan

S_p = *beban pillar (tekanan pillar rata-rata, psi)*

H = *kedalaman dari permukaan (ft)*

B = *lebar bukaan (room atau lubang bukaan, ft)*

w = *lebar pillar (ft)*

L = *panjang pillar (ft)*

Pillar Strength

Kekuatan *pillar* batubara (*pillar strength*) yakni beban persatuan luas, tergantung dari tiga unsur: efek ukuran atau volume (reduksi kekuatan dari percontoh batuan ukuran kecil laboratorium

terhadap *pillar* batubara utuh), efek dari geometri *pillar (shape effect)*, material penyusun batubara.

$$\sigma_p = \sigma_{cube} [A + B (w/h)]$$

dan

$$\sigma_p = K w^a / w^b$$

dengan

σ_p = *kekuatan pillar (pillar strength)*

σ_{cube} = *kekuatan batubara insitu dengan pertimbangan size effect (Mpa)*

A, B, a, b = *konstanta pada shape effect*

K = *konstanta karakteristik seam batubara*

w = *lebar pillar (m)*

h = *ketinggian pillar, biasanya sama dengan ketinggian seam (m)*

Rock Mass Rating

Metode *Rock Mass Rating (RMR)* dari Bieniawski (1989) sebagai sistem klasifikasi massa batuan untuk keteknikan sebagai metode untuk perencanaan tambang bawah permukaan.

Ada enam parameter yang diperhitungkan dalam sistem pengkelasan RMR, yaitu :

a. *kekuatan batuan*

b. *Rock Quality Designation (RQD)*

c. *spasi diskontinuitas*

d. *kondisi permukaan diskontinuitas*

e. *kondisi keairan*

f. *koreksi kemiringan (dip) diskontinuitas*

Tinggi Runtuhan

Konsep runtuh batu, pertama kali diusulkan oleh Terzaghi (1946), ketinggian runtuh batu (ketinggian bukit batu yang harus didukung) dapat berhubungan dengan persamaan peringkat massa batuan.

$$H_t = (100 - RMR) \times (2W) / 100$$

dengan

H_t = *rock load height (m)*

2W = *width of the excavation span (m)*

RMR = *rock mass rating*

Faktor Keamanan

Faktor keamanan *pillar* dapat ditentukan dengan:

$$SF_{WP} = \frac{\sigma_{cube}[0,778+0,222 w/h]}{\left[\frac{S_V(W_{WP}+W_E)}{W_{WP}} \right]}$$

$$SF_{BP} = \frac{\sigma_{cube}[0,778+0,222 w/h]}{\left[\frac{S_V(W_{PN}+W_{BP})}{W_{BP}} \right]}$$

dengan

SF_{WP} = *faktor keamanan web pillar*

SF_{BP} = *faktor keamanan barrier pillar*

S_I = *kuat tekan uniaksial*

S_V = *tekanan vertikal insitu*

W_{PN} = lebar panel
 W_{BP} = lebar *barrier pillar*
 H = tinggi tambang
 $ocube$ = *insitu rock strength (Mpa)*

Hipotesis

Adapun hipotesis atau kesimpulan sementara yang bisa di ambil yakni:

- Menurut penelitian dari American Concrete Institute (1914), Gonnerman (1925), dan Gyengo (1939) sampel kubus memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dari sampel silinder.
- Dengan mengetahui kekuatan massa batuan dan faktor keamanan, maka desain *web pillar* optimum dapat ditentukan.
- Dengan mengetahui kekuatan massa batuan dan faktor keamanan, maka desain *barrier pillar* optimum dapat ditentukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yakni tahap *pra* lapangan, tahap penelitian lapangan, dan tahap *pasca* lapangan (analisis data)

Pra Lapangan

Tahapan pendahuluan yang dilakukan antara lain adalah:

- Studi Literatur
Bertujuan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan analisis kestabilan *pillar* berdasarkan metode empiris dengan mengumpulkan beberapa literatur dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, artikel, skripsi, dan laporan penelitian terdahulu.
- Survei awal
Merupakan tahap peninjauan lokasi penelitian. Survei ini meliputi pemilihan lokasi yang akan dijadikan daerah penelitian. Setelah melakukan survei, rencana penelitian di lapangan dapat dibuat lebih baik.
- Persiapan Alat
Dimaksudkan sebagai persiapan alat sebelum penelitian lapangan di lakukan. Untuk alat yang berbasis laboratorium, bisa di pinjam ke perusahaan terkait penelitian di laksanakan.

Lapangan

Tahap ini ditujukan untuk memperoleh data yang selanjutnya akan dianalisis. Ada dua metode yang dilakukan untuk memperoleh data di lapangan yaitu metode langsung (primer) dan metode tidak langsung (sekunder).

Metode Langsung (Primer)

- Data *Geological Strength Index (GSI)*
Metode langsung yang dilakukan merupakan pengamatan secara langsung terhadap kondisi kekuatan massa batuan di lapangan. Adapun data yang diperlukan yakni data perkiraan kekuatan massa batuan *Geological Strength Index (GSI)*.
- Data Uji Kuat Tekan Uniaksial (*Unconfined Compressive Strength Test-UCS Test*)
Metode langsung yang dilakukan adalah pengambilan sampel batubara utuh untuk selanjutnya dilakukan uji kuat tekan di laboratorium.

Metode Tidak Langsung (Sekunder)

Metode tidak langsung ini meliputi pengumpulan data instansi terkait, data penelitian terdahulu serta arsip perusahaan yang mendukung pekerjaan penelitian seperti data formasi geologi dan profil perusahaan, *log bor*, sifat fisik batuan.

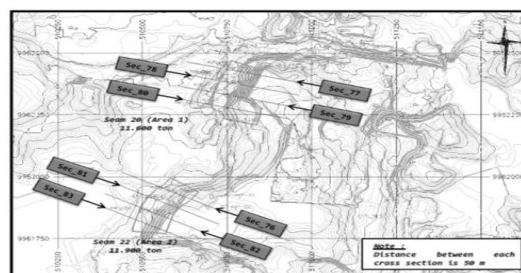
Pasca Lapangan

Pada tahap ini, data yang telah didapatkan dari hasil pengamatan lapangan (data primer) yakni nilai GSI, nilai kuat tekan batubara (UCS) dan pengumpulan data – data pendukung (data sekunder) yakni formasi geologi, data *log bor*, dan data sifat fisik batuan sebagai data dasar yang diperlukan. Kemudian dilakukan perhitungan dan pengolahan data dengan menggunakan metode empiris dengan persamaan Obert-Duvall, sehingga didapat metode serta geometri *pillar* yang optimal.

PEMBAHASAN

Geometri Rencana *Pillar* dengan Sistem *Auger*

Pit S17GS *seam 22* dengan jumlah cadangan 11.900 MT, direncanakan penambangan dengan sistem *double pass*. Sistem *double pass* ditambang dengan jarak penetrasi maksimum 80 m. Jarak antar spasi (*septum*) adalah 0,5 m, dengan diameter *auger* adalah 1,3 m. Jarak *web pillar* dan *barrier pillar* yang digunakan akan disimulasi sehingga didapatkan faktor keamanan yang diinginkan yakni 1,21.



Gambar 3. Geometri *pillar double pass* (PT Kitadin Embalut Site)

Parameter Analisa Sifat Fisik dan Mekanik Dari Setiap Material

Tabel 1. Parameter sifat fisik material

Material	Bobot Isi (MN/m ³)
Overburden	0,021
Coal 22	0,013
Underburden	0,021

Sumber : PT. Kitadin Embalut Site

Tabel 2. Parameter sifat mekanik material

Material	Poisson Ratio	Modulus Young (Mpa)	Sudut geser Dalam (°)	Kohesi (Mpa)
Overburden	0,256	499,543	34,96	0,259
Coal 22	0,24	1081,41	35,94	0,139
Underburden	0,256	499,543	34,63	0,329

Sumber : PT. Kitadin Embalut Site

Perkiraan Massa Batuan dengan Menggunakan GSI

Konstanta Material Intact Rock (Mi)

Konstanta *material intact rock (mi)* adalah nilai yang memperkirakan kekuatan material penyusun dari batuan utuh, nilai tersebut berdasarkan hasil uji triaksial batuan yang dikemukakan oleh Hoek dan Brown. Konstanta *material intact rock* pada penelitian ini merupakan data sekunder, dengan nilai 12.

Uji kuat tekan uniaksial (*Unconfined Compressive Strength Test-UCS Test*)

Nilai uji kuat tekan untuk perkiraan massa batubara dengan persamaan Hoek-Brown, merupakan data sekunder yang didapat dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Geoteknik, PT. Kitadin Embalut. Sampel yang di uji merupakan sampel berbentuk silinder dengan nilai uji kuat tekan rata-rata 4,5 Mpa. Nilai uji kuat tekan tersebut kemudian di input sebagai σ_{ci} ke dalam persamaan Hoek Brown.

Tabel 3. Parameter sifat mekanik material

	Date of Testing	Hole Number	Sample Code	Description	Depth	Height
NO.1	6/4/2016	HW-11	25	CO	32,55-32,72	125,81

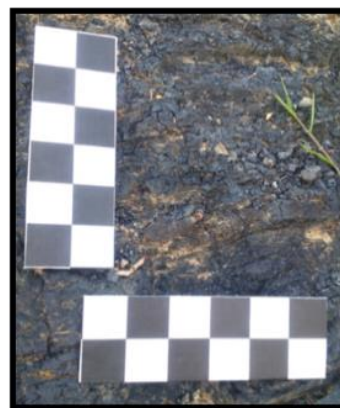
	Diameter	Volume	Weight	Area	Maximum load	Compressive strength
	mm	mm ³		mm ²	kN	MPa
NO.1	60,52	361911,91	533,9	2876,65	12,95	4,5

	Wet Unit Weight
NO.1	1,4752

Sumber: PT. Kitadin Embalut Site

Geological Strength Index (GSI)

Dari pengamatan pada lokasi Pit S17GS, seam 22 diketahui kekuatan massa batubara yang ditunjukkan oleh kelas massa batuan berdasarkan nilai *GSI*. Pada batubara (*coal*) struktur yang terlihat blok – blok (*blocky / disturbed/ seamy*). Nilai *GSI* yang dihasilkan bervariasi dari 35 sampai 38. Kondisi permukaan batubara dapat dilihat sebagai berikut (Gambar 4.2).



Gambar 4. Kondisi permukaan batubara seam 22

Berdasarkan pengamatan di lapangan, didapat nilai *GSI* rata-rata 36,444. Nilai ini kemudian di input untuk diketahui kekuatan massa batuan.

Analisa Kekuatan Massa Batuan

Dengan menggunakan data uji kuat tekan uniaksial (σ_{ci}), konstanta *material intact rock (mi)* serta nilai *GSI*, nilai tersebut di input ke dalam persamaan empiris Hoek Brown dan didapat nilai kekuatan massa batuan adalah 0,53 Mpa. Nilai ini selanjutnya di input ke dalam persamaan Obert-Duvall untuk diketahui desain *web pillar* dan *barrier pillar*-nya dengan faktor keamanan 1,21.

Rock Mass Rating (RMR)

Nilai *Rock Mass Rating (RMR)* didapatkan dari menganalisa *log bore*, adapun nilai *RMR* yang didapatkan adalah 43,41 dan merupakan data sekunder. Dari data *RMR*, diketahui bahwa batuan masuk dalam kelas III massa batuan. Dimana batuan termasuk kategori batu sedang dengan *stand up time* rata-rata dan *span* adalah 1 minggu 5 meter. Berikut adalah tabel pembobotan nilai *RMR*, dimana kolom yang disorot dengan warna kuning merupakan hasil analisa data-data yang ada.

Tabel 4. Pembobotan dengan tabel RMR

Parameter		Selang Pembobotan				Gunakan Nilai UCS		
1	Kuat Tekan PLI (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	5-25	1-5	<1
	Batuan utuh UCS (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50			
	Bobot	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Bobot	20	17	13	8	3		
3	Jarak Kekar	> 2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Bobot	20	15	10	8	5		
4	Kondisi kekar	Muka sangat kasar, tak menerus, tak terpisah, dinding tak lapuk	Muka agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding agak lapuk	Muka agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding sangat lapuk	Muka slickensided gouge <5mm, pemisahan 1-5 mm, menerus	Gouge lunak >5 mm, pemisahan >5mm, menerus		
	Bobot	30	25	20	10	0		
	Aliran air per 10m panjang sangkapan (Litern)	kosong	< 10	10-25	25-125	>125		
5	Air tanah	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	Kondisi umum	kering	lembab	basah	netes	mengalir		
	Bobot	15	10	7	4	0		

Sumber: Simulasi perhitungan

Tabel 5. Nilai bobot Rock Mass Rating

RMR	Nilai	Bobot	Keterangan
Intact rock strength	5,27	2	Uji laboratorium
Rock Quality Designation		19	Interpretasi log bore
Spacing of Discontinuity		11,7	Interpretasi log bore
Discontinuity condition		10,71	Interpretasi log bore
Groundwater		0	Asumsi
Total		43,41	Kondisi batuan sedang

Sumber: Simulasi perhitungan

Tabel 6. Bobot kelas massa batuan

Bobot	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
No. kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batu sangat baik	Batu baik	Batu sedang	Batu buruk	Batu sangat buruk

Sumber: Simulasi perhitungan

Tinggi Runtuhan (Rock Load Height)

Analisis tinggi runtuhan (ketinggian bukit batu yang harus didukung) dilakukan dengan menggunakan konsep Terzaghi yakni menggunakan parameter nilai rock mass rating (RMR) dan lebar panel. Desain panel pada pillar yang dianalisa yakni, 1 panel dengan 1 web pillar hingga 1 panel dengan 10 web pillar.

Tabel 7. Perhitungan tinggi runtuhan (Rock Load Height)

Wp (meter)	Ht (meter)	Keterangan
3,065	3,5	1 panel 1 web pillar
7,3	8,3	1 panel 2 web pillar
10,3	11,7	1 panel 3 web pillar
13,5	15,3	1 panel 4 web pillar
15,3	17,3	1 panel 5 web pillar
18,7	21,2	1 panel 6 web pillar
23	26,0	1 panel 7 web pillar
23,7	26,8	1 panel 8 web pillar
24,7	28,0	1 panel 9 web pillar
27,3	30,9	1 panel 10 web pillar

Sumber : Simulasi perhitungan

Analisis dan Desain Web Pillar dan Barrier Pillar

Web Pillar

Nilai ketebalan overburden (overburden thickness) merupakan nilai tinggi runtuhan bukit batu yang harus didukung oleh web pillar. Ketebalan overburden selanjutnya akan mempengaruhi distribusi penyebaran tegangan insitu vertikal. Tegangan insitu vertikal cenderung dipengaruhi oleh faktor kedalaman dari permukaan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 8. Analisa desain web pillar

Overburden Thickness, H (m)	Vertical Stress, S _v (MPa)	Insitu Rock Strength, S _i (MPa)	Mining Height (m)	W _{wp} (m)	W _p (m)	Safety Factor	Keterangan
3,5	0,09	0,53	3,1	0,465	1,3	1,21	1 panel 1 web pillar
8,3	0,22	0,53	3,1	1,7	1,3	1,21	1 panel 2 web pillar
11,7	0,31	0,53	3,1	1,7	1,3	0,86	1 panel 3 web pillar
15,3	0,41	0,53	3,1	1,75	1,3	0,67	1 panel 4 web pillar
17,3	0,47	0,53	3,1	1,5	1,3	0,54	1 panel 5 web pillar
21,2	0,57	0,53	3,1	1,6	1,3	0,46	1 panel 6 web pillar
26	0,7	0,53	3,1	1,8	1,3	0,4	1 panel 7 web pillar
26,8	0,72	0,53	3,1	1,5	1,3	0,35	1 panel 8 web pillar
28	0,75	0,53	3,1	1,3	1,3	0,31	1 panel 9 web pillar
30,9	0,83	0,53	3,1	1,3	1,3	0,28	1 panel 10 web pillar

Sumber: Simulasi perhitungan

Dengan mengacu pada faktor keamanan yang diinginkan PT. Kitadin yakni 1,21, maka desain web pillar yang dianjurkan adalah 1 panel dengan 2 web pillar. Dimana overburden thickness yang dapat ditahan oleh web pillar adalah 8,3 m dengan vertical stress nya 0,22. Lebar web pillar optimum adalah 1,7 m. Dari tabel di atas, juga dapat diamati bahwa safety factor mengalami penurunan setelah simulasi perhitungan 2 web pillar.

Barrier Pillar

Dengan mengacu pada perhitungan desain web pillar sebelumnya dan rekomendasi faktor keamanan 1,21 dari PT. Kitadin site Embalut didapatkan rekomendasi desain hasil simulasi perhitungan yakni menggunakan 1 panel 2 web pillar. Vertical stress pada desain barrier pillar bernilai sama karena overburden thickness yang ditahan oleh barrier pillar adalah ketinggian

maksimum seam 22 dari permukaan yakni 28,52 m. Dengan metode penambangan *double pass*, tinggi penambangan adalah 3,1 m dengan jarak *septum* 0,5 m dan lebar panel yang digunakan adalah 3,07 m.

Tabel 9. Analisa desain barrier pillar

Height, H (m)	Vertical Stress, S_v (MPa)	In situ Rock Strength, S_i (MPa)	Mining Height (m)	W_{p1} (m)	W_{p2} (m)	W_p (m)	N	W_{p3} (m)	Safety Factor	Keterangan
28,52	0,77	0,53	3,1	0,465	17,8	1,3	1	3,07	1,21	1 panel 1 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,7	21,9	1,3	2	7,3	1,21	1 panel 2 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,7	24,2	1,3	3	10,3	1,21	1 panel 3 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,73	26,3	1,3	4	13,5	1,21	1 panel 4 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,5	27,5	1,3	5	15,3	1,21	1 panel 5 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,6	29,3	1,3	6	18,7	1,21	1 panel 6 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,8	31,5	1,3	7	23	1,21	1 panel 7 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,5	32	1,3	8	23,7	1,21	1 panel 8 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,3	32,5	1,3	9	24,7	1,21	1 panel 9 web pilar
28,52	0,77	0,53	3,1	1,3	33,7	1,3	10	27,3	1,21	1 panel 10 web pilar

Sumber: Simulasi perhitungan

Mengacu pada faktor keamanan yang direkomendasikan PT. Kitadin maka desain *web pillar* dan *barrier pillar* terbatas pada 2 panel saja. Untuk itu selanjutnya dilakukan analisa menggunakan data uji kuat tekan sebagai data primer.

Perkiraan Massa Batuan dengan Menggunakan Uji Kuat Tekan Sifat Fisik dan Mekanik Batubara

Uji sifat fisik batubara penentuan bobot isi merupakan data sekunder yang telah diuji sebelumnya di Laboratorium Geoteknik, PT. Kitadin Embalat yakni 13,4 γ (KN/m³).

Nilai uji sifat mekanik batubara didapat dengan melakukan uji kuat tekan (unconfined compressive strength test-UCS test) terhadap sampel batubara seam 22. Sehingga didapat nilai kuat tekan rata-rata dari keempat sampel berbentuk kubus tersebut adalah 7,4 Mpa

Tabel 10. Perhitungan uji kuat tekan uniaksial seam 22

No	Sampel	F(kN)	Luas Penampang (A)	Kuat Tekan Uniaksial (Mpa)	Nilai Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
1	Seam 22_1	42,5	0,005	8,431	7,4
2	Seam 22_2	22,5	0,004	5,165	
3	Seam 22_3	26,5	0,004	7,122	
4	Seam 22_4	48,5	0,005	9,101	

Sumber: Uji Laboratorium Rekayasa Sipil, Fakultas Teknik Mulawarman

Kekuatan Batubara Berdasarkan Size Effect dan Shape effect Batubara

Dengan melakukan analisa terhadap sampel batubara intact, kekuatan pillar batubara insitu dapat diprediksi. Dimana kekuatan batubara akan menurun dari ukuran spesimen kecil batubara hingga berukuran besar. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan Bienawski, kekuatan batubara yang berbentuk

kubus (insitu rock strength, σ_{cube}) didapatkan sebesar 2 Mpa.

Tabel 11. Perhitungan insitu rock strength

Diameter kubus, D (inchi)	0,067 m	2,64 inchi
Tinggi pillar, h (m)	3,1 m	3,1 m
Kuat tekan uniaksial batubara, σ_c (psi)	7,4 Mpa	1073,22 psi
k	1,92	1743,05
Insitu rock strength, σ_{cube} (Mpa)	290,51 psi	2,00 Mpa

Sumber: Simulasi perhitungan

Rock Mass Rating (RMR)

Nilai Rock Mass Rating (RMR) didapatkan dari menganalisa *log bore*, adapun nilai RMR yang didapatkan adalah 43,41.

Tinggi Runtuhan (Rock Load Height)

Analisis tinggi runtuh (ketinggian bukit batu yang harus didukung) dilakukan pada desain panel *pillar* yakni 1 panel dengan 1 *web pillar* hingga 1 panel dengan 10 *web pillar*.

Tabel 12. Perhitungan tinggi runtuh (Rock Load Height)

Wp (meter)	Ht (meter)	Keterangan
2,688	3,0	1 panel 1 web pilar
4,182	4,7	1 panel 2 web pilar
5,812	6,6	1 panel 3 web pilar
7,620	8,6	1 panel 4 web pilar
9,650	10,9	1 panel 5 web pilar
12,040	13,6	1 panel 6 web pilar
15,020	17,0	1 panel 7 web pilar
19,380	21,9	1 panel 8 web pilar
30,100	34,1	1 panel 9 web pilar
34,300	38,8	1 panel 10 web pilar

Sumber: Simulasi perhitungan

Analisis dan Desain Web Pillar dan Barrier Pillar

a. Web Pillar

Data – data di atas kemudian di analisa dalam simulasi perhitungan untuk mendapatkan lebar web pillar optimum dengan rekomendasi faktor keamanan 1,21.

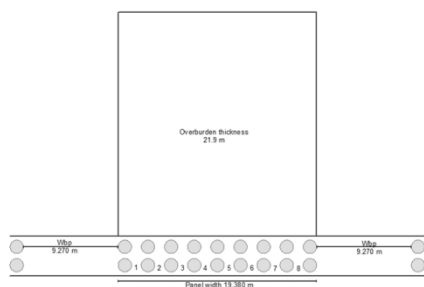
Tabel 13. Analisa desain web pillar

Overburden Thickness, H (m)	Vertical Stress, S_v (MPa)	In situ Rock Strength, S_i (MPa)	Mining Height (m)	W_{p1} (m)	W_{p2} (m)	Safety Factor	Keterangan
3,0	0,08	2	3,1	0,088	1,3	1,21	1 panel 1 web pilar
4,7	0,13	2	3,1	0,141	1,3	1,21	1 panel 2 web pilar
6,6	0,18	2	3,1	0,204	1,3	1,21	1 panel 3 web pilar
8,6	0,23	2	3,1	0,28	1,3	1,21	1 panel 4 web pilar
10,9	0,29	2	3,1	0,37	1,3	1,21	1 panel 5 web pilar
13,6	0,37	2	3,1	0,49	1,3	1,21	1 panel 6 web pilar
17,0	0,46	2	3,1	0,66	1,3	1,21	1 panel 7 web pilar
21,9	0,59	2	3,1	0,96	1,3	1,21	1 panel 8 web pilar
34,1	0,92	2	3,1	1,90	1,3	1,18	1 panel 9 web pilar
38,8	1,05	2	3,1	2	1,3	1,07	1 panel 10 web pilar

Sumber: Simulasi perhitungan

Berdasarkan hasil simulasi maka desain *web pillar* yang dianjurkan adalah 1 panel dengan 8 *web pillar*. Dimana *overburden thickness* yang dapat ditahan oleh *web pillar* adalah 21,9 m dengan *vertical stress* nya 0,59. Lebar web pillar optimum yang bisa digunakan adalah 0,96 m. Dari tabel di atas, juga dapat diamati bahwa *safety factor* mengalami penurunan setelah simulasi perhitungan 8 *web pillar*.

Lebar bukaan auger yang digunakan dalam analisis, sesuai dengan rekomendasi desain PT. Kitadin site Embalut yakni 1,3 m dengan. Sistem penambangan Double Pass dengan jarak septum 0,5m maka tinggi pertambangannya adalah 3,1 m. Estimasi jarak rata-rata dari coal roof dan coal floor adalah 0,4 m. Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa dengan lebar panel dari 8 web pillar adalah 19,38 m. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada gambar.



Gambar 5. Geometri 8 web pillar

b. Barrier Pillar

Dengan mengacu pada perhitungan desain web pillar sebelumnya, dan rekomendasi faktor keamanan 1,21 dari PT. Kitadin site Embalut didapatkan rekomendasi desain hasil simulasi perhitungan yakni menggunakan 1 panel 8 web pillar.

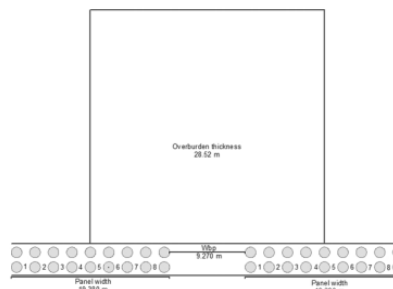
Tabel 14. Analisa desain *barrier pillar*

HeightH (m)	In situ Rock Strength SI (MPa)	Mining Height (m)	W _{UP} (m)	W _{BP} (m)	W _E (m)	N	W _{PN} (m)	Safety Factor	Keterangan
28,52	2	3,1	0,088	2,55	1,3	1	2,688	1,21	1 panel 1 web pillar
28,52	2	3,1	0,141	3,46	1,3	2	4,182	1,21	1 panel 2 web pillar
28,52	2	3,1	0,204	4,34	1,3	3	5,812	1,21	1 panel 3 web pillar
28,52	2	3,1	0,28	5,20	1,3	4	7,62	1,21	1 panel 4 web pillar
28,52	2	3,1	0,37	6,05	1,3	5	9,65	1,21	1 panel 5 web pillar
28,52	2	3,1	0,49	6,95	1,3	6	12,04	1,21	1 panel 6 web pillar
28,52	2	3,1	0,66	7,94	1,3	7	15,02	1,21	1 panel 7 web pillar
28,52	2	3,1	0,96	9,27	1,3	8	19,38	1,21	1 panel 8 web pillar
28,52	2	3,1	1,9	12	1,3	9	30,10	1,21	1 panel 9 web pillar
28,52	2	3,1	2	12,95	1,3	10	34,30	1,21	1 panel 10 web pillar

Sumber: Simulasi perhitungan

Lebar dari barrier pillar optimum yang bisa digunakan adalah 9,27 m dengan ketinggian dari permukaan 28,52 m dan *vertical stress*-nya adalah 0,77 m. Lebar web pillar yang digunakan 1 m dengan lebar bukaan auger 1,3 m. Sistem penambangan Double Pass dengan jarak septum 0,5m dengan tinggi pertambangannya adalah 3,1

m. Estimasi jarak rata-rata dari coal roof dan coal floor adalah 0,4 m. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada gambar.



Gambar 6. Geometri barrier pillar

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat dapat disimpulkan :

1. Nilai kuat tekan sampel kubus adalah 2 Mpa dan nilai kuat tekan sampel silinder adalah 0,53 Mpa. Sehingga sampel kubus lebih representatif untuk mendapatkan desain pillar yang optimum. Hal ini sesuai dengan penelitian dari American Concrete Institute (1914), Gonnerman (1925), dan Gyengo (1939) dimana sampel kubus memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dari sampel silinder.
2. Lebar web pillar optimum yang sesuai dengan rekomendasi PT. Kitadin adalah 0,960 m, dengan lebar panel 19,380 m yang terdiri atas 8 web pillar.
3. Lebar barrier pillar optimum yang sesuai dengan rekomendasi PT. Kitadin adalah 9,270 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ini sudah selayaknya dan patut diberikan kepada Bapak Hendra selaku pembimbing lapangan dan *Supervisor* Geoteknik PT. Kitadin Embalut *Site serta* Dr. Shalaho Dina Devy, S.T., M.Eng., dan Tommy Trides, S.T., M.T., selaku pembimbing I dan pembimbing II saya. Atas ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian ini berlangsung sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

Bienawski, Z. T., 1967, The Effect Of Speciment Size On Compressive Strength Of Coal, National Mechanical Engineering Research Institute: South africa (page. 327)

- Brown and Hoek, Hoek-Brown Failure Criterion
2002 Edition
- Hasrul. 2016. Analisis Kestabilan Pillar Berdasarkan Metode Elemen Hingga Dengan Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb Pada Seam 20M Pit S17GS PT. Kitadin Site Embalut, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Samarinda: Universitas Mulawarman (hal. 46).
- Hoek, E. & Bray J.W.,1981, Rock Slope Engineering, London : The Institution Of Mining and Metalurgy (page. 96).
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, P.F., 1993, Support of Underground Excavations In Hard Rock, Mining Research Directorate and Universities Reasearch Incentive Fund .
- Marinos, Paul & Hoek, Evert, A Geologically Friendly Tool For Rock Mas Strength Estimation
- Medhurst, T. P., Brown, E. T., 1998, A Study of the Mechanical Behavior of Coal For Pillar Design, Great Britain (page. 1099).
- Rai, M. A., 1998, Mekanika Batuan, Bandung : ITB
- Rai, M. A., Suseno K. dan Ridho K. W., 2014, Bandung : Mekanika Batuan, Intitute Teknologi (hal. 72).
- Townsend, dkk, A relationship Between The Ultimate Compressive Strength Of Cubes and Cylinders for Coal Speciments, Virginia : Department of Mining Engineering Virginia Polythecnic Institute and State University