



ANALISIS PROBABILITAS KERUNTUHAN SILL PILLAR

Frengky Seki Banunaek^[1], Priyo Widodo^[2]

^[1]Universitas Nusa Cendana Kupang

Jl. Adi Sucipto Penfui, Kupang Nusa Tenggara Timur

^[2]Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta

Jl. SWK No.104, Ngropoh, Condongcatur, Yogyakarta

e-mail: banunaekfrengky@gmail.com

ABSTRACT

The cut and fill method will leave the mined levels blank and leave the ore as a pillar. In the pillars left behind, there is still gold ore that can be taken (pillar robbing), but pillar robbing activities will reduce the size and stability of the pillar. Unstable pillars can cause failure at the opening, so it is necessary to analyze the effect of thick pillar thickness on the probability of collapse of the pillar sill. The study was conducted at the gold ore mine of PT. Cibaliung Sumberdaya Cibitung Cross Cut XI South Block, with 12 meter, 10 meter and 8 meter sill pillar thickness, with original pillar condition. Strength factor analysis is performed with finite element while the cumulative value is obtained from the cumulative density function analysis. The results of the analysis of the probability of sill pillar collapse in Cross Cut XI South, showed that if the thickness of the sill pillar is 12 meters with a strength factor of 1.69 then the probability value is 24.52%, and for the thickness of the 10 meter sill pillar with a strength factor of 1.57 a 34.14% probability is obtained, with a thickness of 8 meters with strength factor 1.36 is known that the probability of failure is 46.92%.

Keywords: cut and fill, sill pillar, strength factor and probability

ABSTRAK

Motode *cut and fill* akan membuat level – level yang sudah ditambang dibiarkan kosong dan meninggalkan *ore* sebagai *pillar*. Pada *pillar* yang ditinggalkan masih terdapat bijih emas yang dapat diambil (*pillar robbing*), namun kegiatan *pillar robbing* akan mengurangi ukuran dan stabilitas *pillar*. *Pillar* yang tidak stabil dapat menimbulkan *failure* pada bukaan, sehingga perlu dilakukan analisis pengaruh tebal *sill pillar* terhadap probabilitas keruntuhan *sill pillar*. Penelitian dilakukan di tambang bijih emas PT. Cibaliung Sumberdaya Blok Cibitung *Cross Cut XI South*, dengan ketebalan *sill pillar* 12 meter, 10 meter dan 8 meter, dengan kondisi *pillar* original. Analisis *strength factor* dilakukan dengan elemen hingga sedangkan nilai kumulatif diperoleh dari hasil analisis *cumulatif density function*. Hasil analisis probabilitas keruntuhan *sill pillar* di *Cross Cut XI South*, menunjukkan bahwa bila tebal *sill pillar* 12 meter dengan *strength factor* 1.69 maka nilai probabilitas 24.52%, dan untuk tebal *sill pillar* 10 meter dengan *strength factor* 1.57 diperoleh probabilitas 34.14%, ketebalan 8 meter dengan *strength factor* 1.36 diketahui nilai probabilitas keruntuhan adalah 46.92%.

Kata Kunci : *cut and fill*, *sill pillar*, *strength factor* dan probabilitas

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT. Cibaliung Sumberdaya adalah salah satu perusahaan tambang bijih emas, yang berlokasi di provinsi Banten. Cebakan bijih tambang emasnya adalah *low-sulphidation epithermal* berupa *vein* yang memanjang dari Utara ke Selatan, atau dari Cikoneng ke Cibitung. Kegiatan penambangan yang dilakukan di PT. Cibaliung Sumberdaya menggunakan sistem tambang bawah tanah (*Underground Mining*) dengan metode *Cut and Fill*. *Cut and fill* merupakan metode penambangan dengan cara memotong batuan untuk membuat stope. Motode *Cut and Fill* akan membuat level, dan level yang sudah ditambang akan meninggalkan bijih emas (*ore*) sebagai *pillar*. Pada *pillar* yang

ditinggalkan masih terdapat bijih emas yang dapat diekstrak (*pillar robbing*), namun kegiatan *pillar robbing* akan mengurangi ukuran *pillar* dan stabilitas *pillar*. Dengan demikian diperlukan analisis stabilitas *sill pillar* dan *rib pillar* yang ditinggalkan, dengan bantuan *finite element* dan pendekatan dengan cara probabilitas untuk mengetahui probabilitas keruntuhan pada kondisi tersebut.

Lokasi Pengukuran

Adapun pengukuran dilakukan di area tambang bijih emas PT. Cibaliung Sumberdaya Blok Cibitung *Cross Cut XI South*, secara geografis PT. Cibaliung Sumberdaya terletak di sebelah ujung Barat Daya Pulau Jawa dan secara administratif terletak di tiga Kecamatan, yaitu Kecamatan Cimanggu, Kecamatan Cibaliung dan Kecamatan Cibitung,

Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta kesampaian tempat penelitian (PT.Cibaliung Sumberdaya, 2009)

Kegiatan pengukuran yang dilakukan meliputi : pengukuran dimensi *stope* menggunakan alat ukur *distometer*, pengukuran *Dip* dan *Strike*, dan pengukuran *Asimut* terowongan dengan menggunakan kompas Geologi tipe *Burton* serta *mapping* geotek untuk membuat zonasi massa batuan berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* (RMR).

TINJAUAN PUSTAKA

Cut and fill

Cut and fill stoping umumnya di aplikasikan pada *vein* yang *orebody* berbentuk tabular dan masif. Kegiatan penambangan pada metode *cut and fill* meliputi aktifitas sebagai berikut :

- Pemboran dan peledakan, dimana batuan di *cut* \pm 3 m dari batuan induknya
- Scalling* dan support dilakukan pada *crown* dan *wall* yang telah di *blasting*
- Ore loading* secara mekanis keluar dari *stope* dengan batuan gravitasi
- Backfilling* pada *stope* setelah *slice orebody* tambang

Syarat penerapan metode *cut and fill stoping* menurut pendapat Morrison dan Russell (1973), Hamrin (1982), Waterland (1982), Brackebusch (1992), Paroni (1992) adalah sebagai berikut :

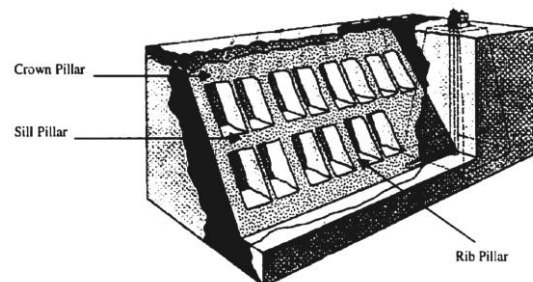
- Kekuatan bijih lemah hingga kuat (untuk batuan lemah dilakukan *drift* dan *fill*), kekuatan batuan lemah hingga cukup lemah, bentuk deposit tabular, tidak teratur dan terputus – putus
- Kemiringan deposit mulai dari sedang sampai cukup curam ($>45^\circ$) dan Ukuran deposit : sempit hingga lebar sedang (6 hingga 100 ft atau 2 sampai 30 m), sampai cukup besar serta nilai bijih cukup tinggi (*fairly high*)
- Keseragaman bijih bervariasi (dalam satu lombong dapat dibedakan antara *waste* dan *ore*)

- Kedalaman sedang sangat dalam (biasanya 4000 hingga 8000 ft atau 1.2 sampai 2.4 km) *Cut and Fill Stoping*, biasanya digunakan dengan cara *overhand*. Bijih emas diekstrak dalam irisan horizontal dan diisi ulang dengan bahan *backfill*. Operasi *backfilling* biasanya dilakukan setelah setiap *slice* horizontal diambil.

Pillar

Istilah *pillar* dikenal sebagai penyanggaan diri dari massa batuan itu sendiri. Sebuah *pillar* dapat didefinisikan sebagai "batuan *in-situ* di antara dua atau lebih bukaan bawah tanah" Coiltes, 1981). Pada tambang bawah tanah *pillar* di klasifikasi menjadi tiga yaitu *protective pillar*, *level pillar*, dan *blok pillar* (Ratan Raj Tatiya, 2005). Seperti Gambar 2.

- Protetive Pillar*
Protective *pillar* digunakan untuk melindungi shaft pada tambang bawah tanah dan dapat juga untuk membatasi tambang yang ada disebelahnya, *pillar* ini juga dikenal dengan istilah *pillar* batas
- Level *Pillar*
Nama lain *pillar* ini adalah *sill pillar* merupakan *pillar* yang berada diatas dan dibawah level tempat kerja atau sebagai penyangga
- Blok *Pillar*
merupakan *pillar* yang berada diantara dua *stope* yang saling berdekatan, *pillar* ini juga dikenal dengan istilah *rib pillar*.



Gambar 2. Jenis *pillar* pada tambang batuan keras (Betournay, 1989)

Dalam tambang bawah tanah *pillar* mempunyai geometri yang berbeda tergantung dari ukuran dan bentuk bijih, metode penambangan dan penggunaan *pillar*. *Sill pillar* digunakan untuk membatasi *stope* dengan level yang ada diatasnya, *rib pillar* berada antara dua *stope* yang saling berdekatan sedangkan *crown pillar* merupakan zona pencegahan pengaruh aktivitas dari permukaan tanah terhadap tambang bawah tanah

Distribusi Probabilitas

Fungsi distribusi probabilitas dideskripsikan menjadi fungsi kerapatan probabilitas (PDF) dan fungsi distribusi kumulatif (CDF). *Probability*



distribution function (PDF) mendeskripsikan daerah kemungkinan relatif bahwa suatu bilangan acak dapat diasumsikan sebagai suatu nilai tertentu sedangkan Cumulative distribution function (CDF) adalah hasil penjumlahan atau bagian integral dari fungsi PDF. Untuk distribusi faktor keamanan yang diarsir merupakan probabilitas keruntuhan. Dalam penyelesaian, metode probabilitas membutuhkan sebuah angka atau bilangan acak sehingga diperlukan suatu simulasi dan pada paper ini penulis menggunakan simulasi Monte Carlo, dimana simulasi Monte Carlo adalah metode simulasi yang digunakan untuk menghitung atau memperkirakan nilai atau solusi menggunakan angka acak (*random numbers*), probabilitas dan statistika. Simulasi Monte Carlo merupakan suatu kode algoritma yang diciptakan oleh Jhon Von Neumann (1946) atas perintah Stanislaw Ulam (Pathak et.al, 2006). Dasar simulais Monte Carlo adalah percobaan elemen dengan menggunakan sampel acak. Oleh karena itu dengan simulasi ini seolah – olah dapat diperoleh data dari lapangan atau dengan kata lain simulasi Monte Carlo meniru kondisi lapangan secara numerik.

METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan Lapangan

Adapun kegiatan lapangan yang dilakukan adalah melakukan pengukuran dimensi *stope* (lombong) menggunakan alat ukur *Distometer*, sehingga dari hasil pengukuran diketahui dimensi *stope* mempunyai tinggi 4.71 meter dan lebar 5.10 meter. Hasil pengukuran dimensi *stope* nantinya akan digunakan sebagai inputan dalam penentuan nilai tinggi runtuh. Bukan berbentuk tapal kuda. Dimensi *stope* dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian melakukan pengukuran *Dip* dan *Strike* terhadap bidang *diskontinu* dan pengambilan *Azimuth* terowongan, pengukuran *Heading distance*, dan menentukan kelas massa batuan dengan parameter RMR. PT. Cibaliung Sumberdaya memiliki pembobotan yang telah disesuaikan dengan kondisi massa batuan yang ada di lokasi tersebut. Serta preparasi matriks batuan (andesit dan *Vein* kuarsa) menjadi *inti core* dengan mengikuti ketentuan ukuran perconton uji $L/D = 2$ (ISRM, 1981).

Kegiatan Laboratorium

Batuan mempunyai sifat – sifat tertentu yang perlu diketahui, dalam mekanika batuan sifat batuan dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu sifat fisik dan mekanik. Adapun kegiatan yang dilakukan di laboratorium adalah menentukan nilai sifat fisik dan sifat mekanik dari perconton Andesit dan *Vein* Kuarsa. Pengujian conto batuan dilakukan di Laboratorium Asia Rock Test Yogyakarta. Uji sifat fisik menggunakan tiga litologi, dengan empat belas conto uji, sedangkan untuk uji mekanik menggunakan tiga litologi yang berbeda dengan

sebelas conto uji untuk setiap litologi. Pertama – tama adalah penentuan sifat fisik batuan yang merupakan uji tanpa merusak (*non destructive test*), kemudian dilanjutkan dengan penentuan sifat mekanik batuan yang adalah uji merusak (*destructive test*) sehingga conto batuan hancur. Adapun hasil uji sifat fisik dan sifat mekanik conto batuan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2, dibawah ini :

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik batuan

Sifat Fisik	Bobot isi asli gr/cm ³	Bobot isi kering gr/cm ³	Bobot isi jenuh gr/cm ³	Porositas %
<i>Andesit Flow</i>	2.38	2.33	2.40	7.46
<i>Andesit Breksi</i>	2.34	2.29	2.39	10.05
<i>Vein</i>	2.45	2.41	2.52	10.68

Sumber : Olahan Penulis, 2019

Adapun tabulasi hasil uji kuat tekan uniaksial untuk ketiga litologi dapat dilihat seperti dalam Tabel 2. Dari hasil uji diketahui bahwa material Andesit flow merupakan material yang paling kuat, dengan nilai kuat tekan uniaksial 44.47 MPa, sedangkan vein 42.69 MPa dan andesit breksi 43.37 MPa

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

Material	UCS MPa	E MPa	ν
<i>Andesit Flow</i>	44.47	2492.17	0.25
<i>Andesit Breksi</i>	43.37	4765.33	0.25
<i>Vein</i>	42.69	4337.12	0.29

Sumber : Olahan Penulis, 2019

Sedangkan pada Tabel 3 menunjukkan hasil uji kuat tarik pada conto batuan andesit dan *vein* kuarsa.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji kuat tarik

No	Sample ID	Luas cm ²	Beban Kg	Kuat tarik MPa
1	Cbt_Andesit	31.79	1443.60	4.54
2	Cbt_Vein	32.08	1130.82	3.52

Sumber : Olahan Penulis, 2019

METODE ANALISIS

Seluruh data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisis berdasarkan metode dan tahapan penelitian. Tahap analisis data ini dimulai dari analisis persentase kelas batuan, penentuan tinggi runtuh, analisis *strength factor* dengan elemen hingga dan analisis probabilitas keruntuhan dengan probabilitas. Pendekatan dan simulasi numerik pada penelitian ini menggunakan bantuan software Phase2.V.8, Rocklab digunakan untuk menentukan

pembobotan m_b , s dan a , sedangkan Software Matlab.R2016 digunakan untuk analisis probabilitas dengan menampilkan nilai *Cumulative Density Function* serta ACAD digunakan untuk membuat Zonasi massa batuan berdasarkan nilai RMR yang diperoleh dari hasil *mapping* di lapangan. Sedangkan pendekatan yang digunakan adalah Hoek – Brown.

Persentase Kelas Batuan

Dari hasil *mapping* geotek maka diketahui bahwa kelas massa batuan di Blok Cibitung *Cross Cut XI South* termasuk dalam kelas IV atau kategori jelek (*poor rock*) dengan nilai $RMR \leq 40$ sampai kelas III atau sedang (*fair rock*) dengan rata – rata nilai RMR 41. Pemetaan dilakukan setiap 24 jam, setelah kegiatan *blasting*. Berdasarkan hasil *mapping* geotek tersebut, kemudian dilakukan analisis persentase kelas batuan berdasarkan nilai RMR sehingga diketahui bahwa 71% massa batuan di Blok Cibitung *Cross Cut XI South* tergolong dalam kategori jelek sedangkan 29% massa batuan kategori sedang.

Penentuan Nilai Tinggi Runtuh

Penentuan tinggi runtuh berdasarkan nilai dari RMR dan lebar *stope* (Unal, 1983). Untuk alasan keamanan sisa *pillar* yang ditinggalkan harus lebih besar dari nilai tinggi runtuh. Untuk mencari nilai tinggi runtuh dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H_t = \left\{ \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \right\} \times B \dots\dots\dots (1)$$

$$P = \gamma \cdot H_t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- H_t = Tinggi runtuh minimal (m)
- P = Beban batuan (ton/m²)
- RMR = Nilai *Rock Mass Rating*
- B = Lebar Bukaannya (m)
- γ = Densitas batuan (ton/m³)

dengan menggunakan persamaan diatas maka, diperoleh nilai Tinggi runtuh dan beban runtuh sebagai berikut :

$$H_t = \left\{ \left(\frac{100 - 41}{100} \right) \right\} \times 5.01$$

$$H_t = \left\{ \left(\frac{59}{100} \right) \right\} \times 5.01$$

$$H_t = \left\{ \left(\frac{59}{100} \right) \right\} \times 5.01$$

$$H_t = 2.955 \text{ m}$$

Jadi, dengan lebar *stope* 5.10 m dan nilai RMR 41 diketahui bahwa tinggi runtuh minimal adalah 2.955 m.

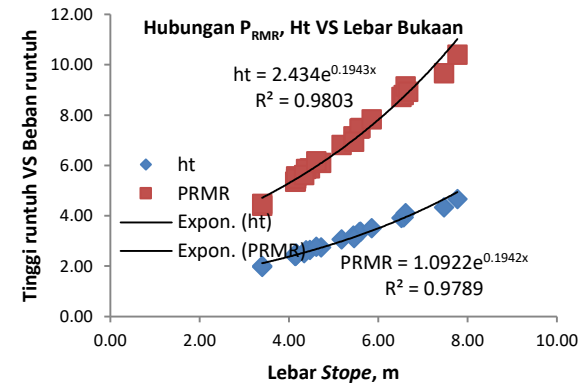
$$P = \gamma \cdot H_t$$

$$P = 2.45 \text{ ton/m}^3 \cdot 2.955 \text{ m}$$

$$P = 7.24 \text{ ton/m}^2$$

Jadi, beban runtuh pada Blok Cibitung *Cross Cut XI South* dengan tinggi runtuh 2.955 m adalah 7.24 ton/m².

Adapun hubungan antara tinggi runtuh dan beban runtuh seperti pada Gambar 3. Dimana dari grafik diperoleh informasi bahwa nilai beban runtuh dan tinggi runtuh akan semakin besar apabila *stope* di *Cross Cut XI South* semakin di pelebar



Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 3. Hubungan P_{RMR} , H_t VS Lebar Bukaannya

Metode Elemen Hingga

Penentuan nilai *Strength factor* diperoleh dari perbandingan kekuatan batuan dengan tegangan terinduksi pada *mesh*. Penentuan nilai kekuatan batuan diperoleh dari kriteria keruntuhan Hoek–Brown. Tegangan terinduksi terjadi karena hilangnya kesetimbangan tegangan akibat kegiatan pengalihan. Untuk menghitung nilai *strength factor*, peneliti menggunakan bantuan software Phase².V.8.0 dan menggunakan kriteria keruntuhan yaitu Hoek–Brown. Persamaan untuk menentukan nilai *strength factor* adalah sebagai berikut :

$$I_1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$$

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2$$

$$J_3 = \left(\sigma_{xx} - \frac{I_1}{3} \right) \left(\sigma_{yy} - \frac{I_1}{3} \right) \left(\sigma_{zz} - \frac{I_1}{3} \right) + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \left(\sigma_{xx} - \frac{I_1}{3} \right) \tau_{yz}^2 - \left(\sigma_{yy} - \frac{I_1}{3} \right) \tau_{zx}^2 - \left(\sigma_{zz} - \frac{I_1}{3} \right) \tau_{xy}^2$$

$$\Theta = \frac{1}{3} \arcsin \left(-\frac{3\sqrt{3}J_3}{2J_2^{3/2}} \right), -\frac{\pi}{6} < \Theta < \frac{\pi}{6}$$

$$s = \sqrt{J_2}$$

$$S_{Max} = \frac{\sqrt{\left(1 + \frac{\tan \Theta}{\sqrt{3}} \right)^2 \left(\frac{m\sigma_c}{8} \right)^2 + \left(\frac{m\sigma_c I_1}{12} + \frac{s\sigma_c^2}{4} \right)}{\cos \Theta} - \frac{m\sigma_c}{8} \left(1 + \frac{\tan \Theta}{\sqrt{3}} \right)}$$

$$strength\ factor = \frac{S_{Max}}{S} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- I_1 = Tegangan Invariant
- J_2, J_3 = Invariant Tegangan Deviatorik

Berdasarkan hasil analisis dengan metode numerik, maka diketahui bahwa nilai *strength factor* untuk *sill*



pillar dengan tebal *sill pillar* 12 meter, 10 meter, 8 meter, 6 meter seperti yang terlihat pada Tabel 4 – 7 sebagai berikut :

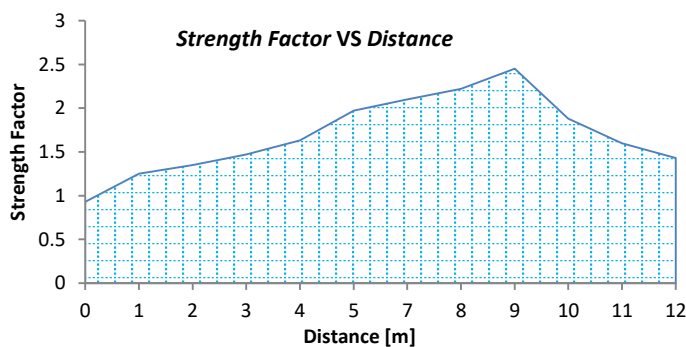
- a. Hasil analisis nilai SF pada tebal *sill pillar* 12 meter, seperti pada Tabel 4 dibawah :

Tabel 4. Nilai *strength factor sill pillar* dengan tebal 12 meter

X	Y	Distance [m]	Strength Factor
93.1277	-131.143	0	0.93
93.1277	-130.056	1	1.25
93.1277	-128.968	2	1.35
93.1277	-127.881	3	1.47
93.1277	-126.794	4	1.63
93.1277	-125.707	5	1.97
93.1277	-124.62	7	2.1
93.1277	-123.533	8	2.22
93.1277	-122.446	9	2.45
93.1277	-121.358	10	1.88
93.1277	-120.271	11	1.6
93.1277	-119.184	12	1.43
Rata – rata			1.69

Sumber : Olahan Penulis, 2019

Dari hasil analisis numerik, diketahui bahwa rata – rata nilai *strength factor* pada *sill pillar* dengan tebal 12 meter adalah 1.69. dengan nilai *strength factor* tertinggi adalah 2.45 pada jarak 9 meter. Jarak dihitung dari atap (*roof*) *stope* pada *Cross Cut* XI *South* sampai pada lantai (*floor*) *Cross Cut* X yang ada di atasnya. Secara grafis dapat dilihat pada Pada Gambar 4.



Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 4. Grafik perbandingan *Strength Factor* dengan *Distance* (m), tebal *sill pillar* 12 meter

Dimana grafik tersebut memberikan informasi perubahan nilai *strength factor* di setiap jarak 1 meter, dari grafik tersebut diketahui terdapat peningkatan nilai *strength factor* sampai pada jarak 9 meter, kemudian terjadi penurunan kembali pada

jarak 10 meter, sebab telah mendekati lantai (*floor*) dari *stope Cross Cut* X sehingga mengakibatkan terjadi penumpukan tegangan, selain itu kondisi massa batuan di lokasi tersebut masuk dalam kategori jelek.

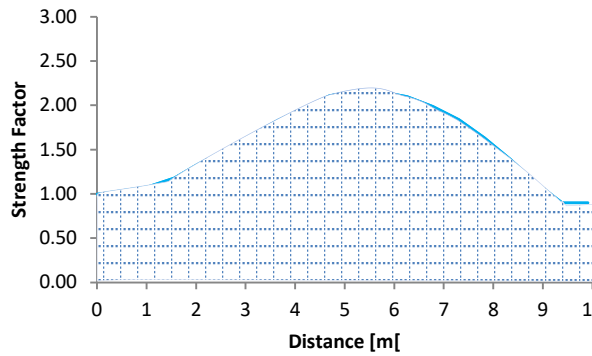
- b. Hasil analisis nilai *Strength Factor* pada tebal *sill pillar* 10 meter, seperti pada Tabel 5 dibawah :

Tabel 5. Nilai *strength factor sill pillar* dengan tebal 10 meter

X	Y	Distance [m]	Strength Factor
93.6794	-119.186	0	1.00
93.6794	-120.23	1	1.08
93.6794	-121.795	2	1.50
93.6794	-122.317	3	1.67
93.6794	-123.882	4	2.11
93.6794	-124.925	5	2.15
93.6794	-125.969	6	1.99
93.6794	-127.012	7	1.63
93.6794	-127.534	8	1.39
93.6794	-128.056	9	1.12
93.6794	-128.577	10	0.90
Rata – rata			1.50

Sumber : Olahan Penulis, 2019

Dari hasil analisis numerik, diketahui bahwa rata – rata nilai *strength factor* pada *sill pillar* dengan tebal 10 meter adalah 1.50. dengan nilai *strength factor* tertinggi adalah 1.99 pada jarak 6 meter. Jarak dihitung dari atap (*roof*) *stope* pada *Cross Cut* XI *South* sampai pada lantai (*floor*) *Cross Cut* X yang ada di atasnya.



Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 5. Grafik perbandingan Strength Factor dengan Distance (m), tebal sill pillar 10 meter.

Secara grafis dapat dilihat pada Gambar 5. memberikan informasi perubahan nilai *strength factor* di setiap jarak 1 meter, dari grafik tersebut diketahui terdapat peningkatan nilai *strength factor* sampai pada jarak 6 meter, kemudian terjadi penurunan kembali pada jarak 7 meter, sebab telah mendekati lantai (*floor*) dari *stope Cross Cut X* sehingga mengakibatkan terjadi penumpukan tegangan, selain itu kondisi massa batuan di lokasi tersebut masuk dalam kategori jelek.

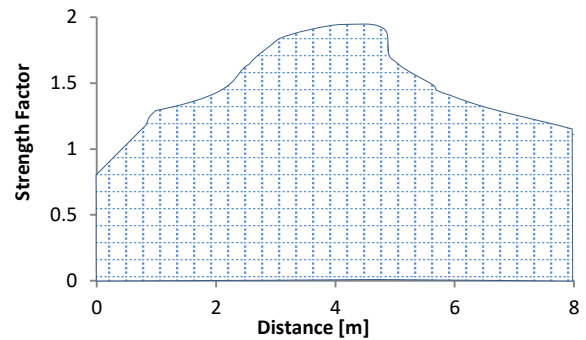
- c. Hasil analisis nilai *Strength Factor* pada tebal *sill pillar* 8 meter, seperti pada Tabel 6 dibawah

Tabel 6. Nilai *strength factor* sill pillar dengan tebal 8 meter

X	Y	Distance [m]	Strength Factor
93.5287	-128.143	0	0.77
93.5287	-127.329	0.8	1.13
93.5287	-126.514	1	1.25
93.5287	-125.7	2	1.36
93.5287	-124.886	3	1.76
93.5287	-124.072	4.0	1.87
93.5287	-123.257	4.8	1.86
93.5287	-122.443	5	1.62
93.5287	-121.629	6	1.34
93.5287	-120.815	7	1.2
93.5287	-120.001	8	1.11
Rata-rata			1.38

Sumber : Olahan Penulis, 2019

Dari hasil analisis numerik, diketahui bahwa rata – rata nilai *strength factor* pada *sill pillar* dengan tebal 8 meter adalah 1.38. dengan nilai *strength factor* tertinggi adalah 1.87 pada jarak 4 meter. Jarak dihitung dari atap (*roof*) *stope* pada *Cross Cut XI South* sampai pada lantai (*floor*) *Cross Cut X* yang ada di atasnya.



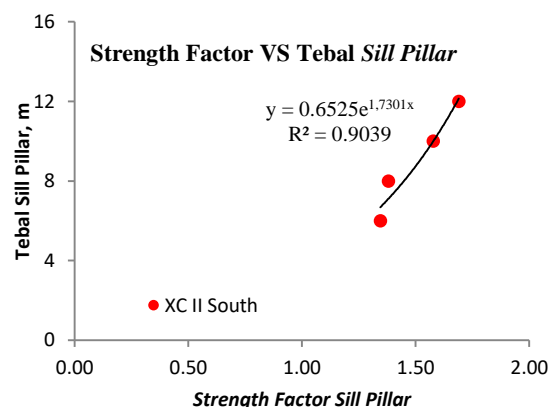
Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 6. Grafik perbandingan Strength Factor dengan Distance (m), tebal sill pillar 8 meter

Secara grafis dapat dilihat pada Gambar 6. memberikan informasi perubahan nilai *strength factor* di setiap jarak 1 meter, dari grafik tersebut diketahui terdapat peningkatan nilai *strength factor* sampai pada jarak 4 meter, kemudian terjadi penurunan kembali pada jarak 5 meter, sebab telah mendekati lantai (*floor*) dari *stope Cross Cut X* sehingga mengakibatkan terjadi penumpukan tegangan, selain itu kondisi massa batuan di lokasi tersebut masuk dalam kategori jelek.

Hubungan *Strength factor* VS Tebal *Sill Pillar*

Setelah hasil analisis *strength factor* diperoleh kemudian dilakukan analisis pengaruh antara tebal *sill pillar* terhadap nilai *strength factor* yang dijelaskan dalam bentuk grafis seperti yang dijelaskan pada Gambar 7. dalam Gambar tersebut menjelaskan bahwa adanya hubungan yang signifikan antara tebal *sill pillar* pada *Cross Cut XI South* dimana nilai pengaruh *strength factor* dan ketebalan *sill pillar* dengan nilai koefisien determinasi yang ditunjukkan dengan nilai $R^2 = 0.9039$ artinya nilai *strength factor* akan meningkat apabila tebal *sill pillar* di *Cross Cut XI South* semakin tebal.



Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 7. Hubungan *Strength factor* VS Tebal *Sill Pillar*



Analisis Probabilitas keruntuhan

Berdasarkan hasil analisis *strength factor* dengan metode numerik pada *Cross Cut XI South*, maka dilakukan suatu analisis probabilistik keruntuhan pada *sill pillar* dengan batas nilai *strength factor* adalah 1.4. (Martin dan Maybee, 2000). *Cumulatif Density Function* (CDF) dapat didefinisikan seperti persamaan dibawah ini :

$$F_x(x) = P(X \leq x) = P(\mu_x + Z\sigma_x \leq x) = P\left(Z \leq \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right)$$

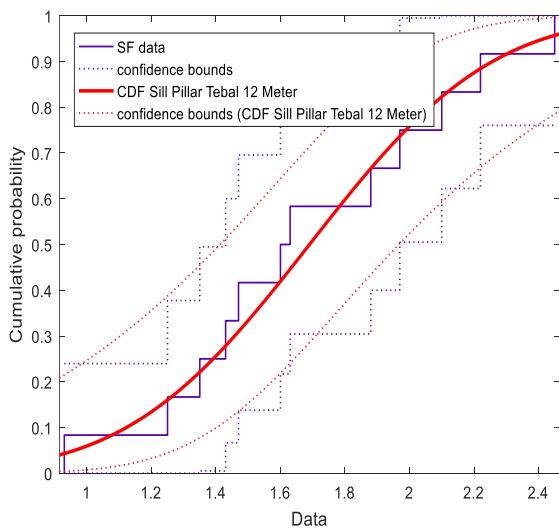
atau

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right) = F_z(z) \dots\dots\dots (4)$$

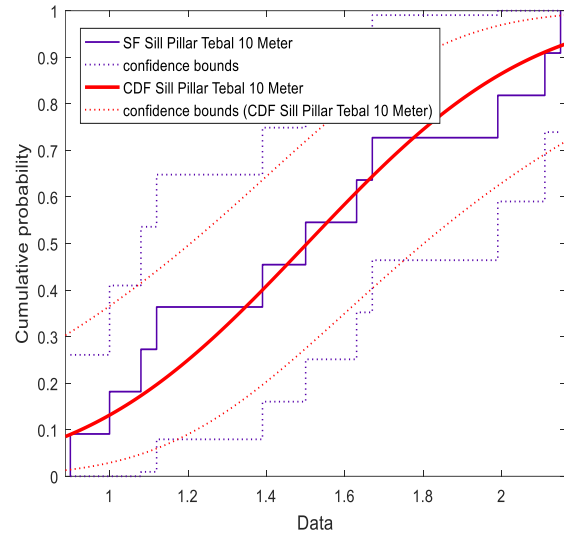
$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_x(x) dx \dots\dots\dots (5)$$

Berdasarkan persamaan 4 dan 5 diatas, kemudian dilakukan analisis probabilitas dengan bantuan software Matlab.R2016 untuk memperoleh grafik kumulatif keruntuhan di masing – masing ketebalan *sill pillar* di *Cross Cut XI South*, seperti pada gambar 7 sampai dengan 9.

a. Gambar 8, memperlihatkan probabilitas keruntuhan pada *sill pillar* di *Cross Cut XI South* dengan tebal *sill pillar* 12 meter, dimana dari hasil analisis probabilitas diperoleh nilai *Cumulatif Density Function* (CDF) sebesar 24.52%, dengan reliabilitasnya 75.48%. Dari hasil analisis probabilitas maka *sill pillar* pada blok *Cross Cut XI South* masih dapat dilakukan kegiatan *pillar robbing*, karena nilai probabilitas keruntuhan pada blok *Cross Cut XI South* < 40% (J. Connor, 2011)

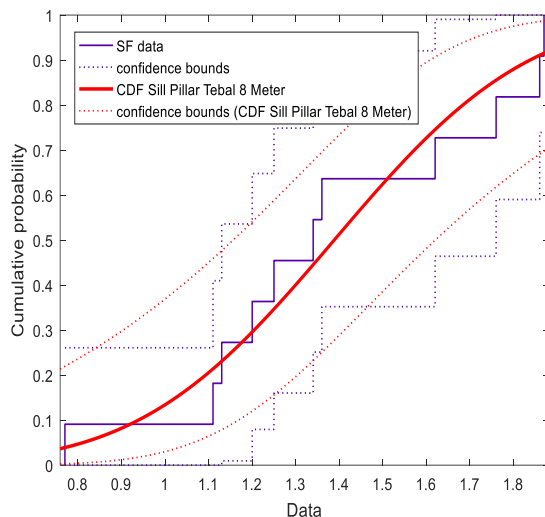


Sumber : Olahan Penulis, 2019
Gambar 8. Nilai Kumulatif pada *sill pillar* di *Cross Cut XI South* dengan tebal *sill pillar* 12 meter



Sumber : Olahan Penulis, 2019
Gambar 9. Nilai Kumulatif pada *sill pillar* di *Cross Cut XI South* dengan tebal *sill pillar* 10 meter

- b. Gambar 9, menunjukkan probabilitas keruntuhan *sill pillar* di *Cross Cut XI South* dengan tebal *sill pillar* 10 meter, dimana dari hasil analisis probabilitas diperoleh nilai *Cumulatif Density Function* (CDF) sebesar 34.14%, dengan reliabilitasnya 65.86%. Dari hasil analisis probabilitas maka *sill pillar* pada blok *Cross Cut XI South* masih dapat dilakukan kegiatan *pillar robbing*, karena nilai probabilitas keruntuhan pada blok *Cross Cut XI South* < 40% (J. Connor, 2011)
- c. Gambar 10, menunjukkan probabilitas keruntuhan *sill pillar* di *Cross Cut XI South* dengan tebal *sill pillar* 8 meter, dimana dari hasil analisis probabilitas diperoleh nilai *Cumulatif Density Function* (CDF) sebesar 46.92%, dengan reliabilitasnya 54.39%. Dari hasil analisis probabilitas maka *sill pillar* pada blok *Cross Cut XI South* tidak dapat dilakukan kegiatan *pillar robbing*, karena nilai probabilitas keruntuhan pada blok *Cross Cut XI South* > 40% (J. Connor, 2011)



Sumber : Olahan Penulis, 2019

Gambar 10. Nilai Kumulatif pada sill pillar di Cross Cut XI South dengan tebal sill pillar 8 meter

KESIMPULAN

1. Ada hubungan yang signifikan antara tebal *sill pillar* pada *Cross Cut XI South* dimana nilai pengaruh *strength factor* dan ketebalan *sill pillar* dengan nilai koefisien determinasi yang ditunjukkan dengan nilai $R^2 = 0.9039$ artinya nilai *strength factor* akan meningkat apabila *sill pillar* di *Cross Cut XI South* semakin tebal
2. Probabilitas keruntuhan *sill pillar* di *Cross Cut XI South*, dengan batas *strength factor* 1,4 menunjukkan bahwa probabilitas keruntuhan pada *sill pillar* dengan tebal 12 meter adalah 24.52%, tebal *sill pillar* 10 meter probabilitas keruntuhan 34.14%, ketebalan 8 meter probabilitas keruntuhan adalah 46.92%

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. PT. Cibaliung Sumberdaya yang telah mengijinkan penulis untuk mengambil data di Blok Cibitung,
2. Bapak Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT yang telah memberikan masukan bagi penulis dalam penyusunan paper.
3. Bapak Dr. Ir. S. Koesnaryo, MS.c., IPM yang telah memberikan ijin kepada penulis untuk menggunakan peralatan uji di Laboratorium Asia Rock Test.

DAFTAR PUSTAKA

Alexandros D, Anderas B., 2017. Evaluating Performance of Lignite Pillars With 2D Techniques and 3D Numerical Analyses. *International Journal of Mining Science and Technology*. Elsevier B.V. on behalf of China University of Mining & Technology. 27;929-936

Andrzej S. Nowak, Kevin R. Collins., 2000. *Reliability of Structures*. McGraw Hill Companies

Connor Langford. J and Mark S. Diederichs, 2011. *Application of Reliability Methods in Geological*. Department of Geological Sciences and Geological Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada

Coates, D. F., 1981. *Rock Mechanics Principles*. CANMET Energy, Mines and Resources Canada.

Devore, J. L., 2003. *Probability and statistics for Engineering and the Science*, 6th Ed., Duxbury Press, New York.

Esterhuizen GS., 2000. Jointing effects on pillar strength. In: Peng SS, Mark C, eds. *Proceedings of the 19th International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, WV: West Virginia University, pp. 286–290.

Ferson, S., Hajagos, J. G., Berleant, D., Zhang, J., Tucker, W. T., Ginzburg, L. and Oberkampf, W. (2004). Dependence in Dempster-Shafer theory and probability bounds analysis. Sandia Report SAND 2004-3072. Sandia National Laboratories: Albuquerque

Hall, J. W. and Lawry, J. (2004). Generation, combination and extension of random set approximations to coherent lower and upper probabilities. *Reliability Engineering & System Safety* 85: 89-101.

Hamrin, H. O. 1982. Choosing an Underground mining method. In *underground mining methods handbook*, W. A. Hastrulid (ed), 88 – 112. New York: Soc. Min Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs

Law, A. M. Kelton and W. D., 2000. *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York.

Made Astawa, R., Kramadibrata. S., Ridho Kresna Watimena., 2014, *Mekanika Batuan*, Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang ITB Bandung.

Martin, C. D and Maybee, W. G., 2000. The Strength Of Hard Rock Pillars. *International Journal of Rock Mechanis and Mining*, 37,1239-1246.

Nick, T. Thomopoulos., 2017. *Statistical Distributions. Applications and Parameter Estimates*. Springer

Salamon MDG, Canbulat I, Ryder JA., 2006. Seam-specific pillar strength formulae for south african collieries. In: Yale DP, Holtz SC, Breeds C, Ozbay U, eds. *Proceedings of the 41st U.S. Rock*



Mechanics Symposium (Golden, CO, June 17–21, 2006). Alexandria, VA: American Rock Mechanics Association, Paper 06-1154.

Tjong W. Foek., 2001. Aplikasi Statistik Ekstrim dan Simulasi Monte Carlo Dalam Penentuan Beban Rencana Pada Struktur Dengan Umur Guna Tertentu. Universitas Petra, Vol. 3, No 2;84-88