

INOVASI SISTEM PENYANGGAAN DI TAMBANG BAWAH TANAH DMLZ PT.FREEPORT INDONESIA

Arjuna Ginting¹, Aleksander Purba², dan Anwar Sjadat²

¹Senior Manager, Underground Geotechnical dan Hydrology, PT.Freeport Indonesia
E-mail: aginting@fmi.com

²Underground Geotechnical DOZ dan DMLZ Mine, PT.Freeport Indonesia
E-mail: apurba@fmi.com
E-mail: asjadat@fmi.com

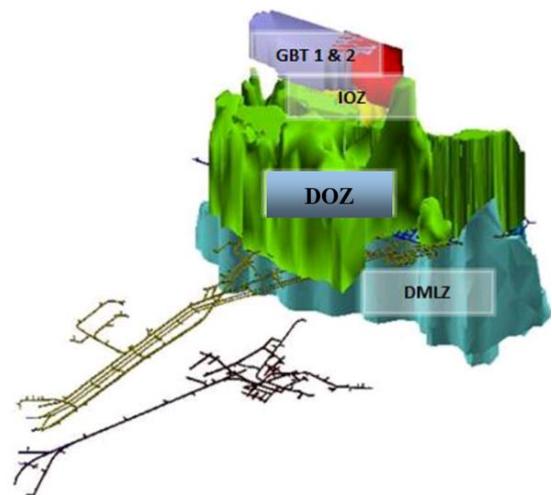
Abstrak. Sistem penyanggaan adalah salah satu aspek yang tidak bisa dipisahkan dalam sebuah perencanaan penambangan dengan metode tambang bawah tanah, kesuksesan dan kegagalan dalam menentukan sistem penyanggaan menjadi hal yang sangat kritikal dan penting, karena kegagalan dalam hal ini dapat menyebabkan resiko terhadap keselamatan bagi para pekerja serta terganggunya aktifitas produksi. PT.Freeport Indonesia mempunyai beberapa area tambang bawah tanah, dua area tambang bawah tanah yang saat ini pada tahap produksi yaitu *Deep Ore Zone (DOZ)* dan *Biggosan*, serta dua area yang pada tahap proses *development* dengan menggunakan metode *block caving* yaitu *Deep Mill Level Zone (DMLZ)* dan *Grasberg Block Caving (GBC)*. Area tambang DMLZ terletak dikedalam 1500-1600m dari permukaan dan terletak dibawah tiga area tambang bawah tanah sebelumnya (Gunung Biji Timur, *Intermediet Ore Zone*, dan *Deep Ore Zone*), letaknya yang jauh dari permukaan menjadikan DMLZ berada pada kondisi tegangan yang cukup tinggi (*high stress*). Inovasi sistem penyanggaan terus dilakukan khususnya sistem penyanggaan yang dipasang di area tambang bawah tanah DMLZ, sebagai salah satu komitmen perusahaan terhadap keselamatan dalam pencapaian produksi yang aman serta optimal dikemudian hari. Tulisan ini menjelaskan dan menyebutkan sistem penyanggaan di tambang bawah tanah DMLZ. Sistem penyanggaan yang digunakan sejak pertama metode tambang bawah tanah yang telah dibuka sampai saat ini telah banyak mengalami perubahan, dari sistem pemasangan secara manual atau konvensional serta jenis penyanggaan yang digunakan sesuai dengan kondisi pada tekanan yang tinggi dan berpotensi terjadinya *strainburst* atau *rockburst* seperti kondisi saat ini.

Kata kunci: *block caving, high stress, strainburst, rockburst, caving*

I. PENDAHULUAN

Tambang DMLZ (*Deep Mill Level Zone*) adalah salah satu lokasi tambang bawah tanah di area pertambangan PT Freeport Indonesia (PTFI) disamping tambang bawah tanah DOZ, Big Gossan dan Grassberg Block Caving. Tambang DMLZ berada di dalam satu bagian badan bijih dengan area tambang GBT 1 & 2, IOZ, dan DOZ, lokasinya terletak pada sistem deposit *East Ertsberg Skarn Sistem (EESS)* (Gambar 1), dimana terletak 410m dibawah tambang DOZ yang masih aktif sampai saat ini dan 1590m di bawah permukaan tanah, dengan metoda penambangan ambrukan (*Block Caving*).

Pada saat ini tambang DMLZ masih dalam tahap pengembangan dibeberapa area dan sudah tahap peledakan ambrukan dilevel *Undercut*



Gambar 1. Lokasi tambang DMLZ pada kompleks *East Ertsberg Skarn System (EESS)*

Pada proses ambrukkan, salah satu masalah yang dihadapi adalah perubahan tegangan disekitar zona ambrukkan dan aktifitas seismic yang terus meningkat akibat adanya perubahan tegangan.

Akibatnya di beberapa area terjadi potensi kerusakan pada lubang bukaan dan ledakan secara tiba-tiba (*strainbursts*) akibat adanya konsentrasi tegangan yang tinggi dan tidak merata, oleh karena itu *Department Underground Geotech* melakukan evaluasi sistem penyanggaan yang terpasang di tambang DMLZ.

Sistem penyanggaan yang terpasang pada tambang DOZ dijadikan sebagai salah satu pengalaman yang sangat berharga dalam menentukan sistem penyanggaan yang akan dipasang di Tambang DMLZ, salah satu tantangan pada tambang DMLZ adalah letaknya yang jauh dari permukaan menyebabkan tegangan yang dihasilkan menjadi sangat besar, ditambah dengan kondisi geology yang cukup kompleks menjadikan tantangan dalam pemilihan penyangga.

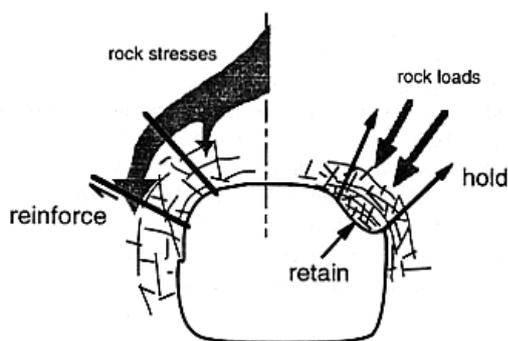
II. SISTEM PENYANGGAN TAMBANG BAWAH TANAH

A. Pemilihan penyanggaan ditambang bawah tanah

Secara definisi penyangga adalah alat bantu agar kondisi massa batuan dapat menyangga dirinya sendiri sehingga mencapai keseimbangan setelah adanya gangguan berupa lubang bukaan itu sendiri. Adapun fungsi dari penyangga adalah sebag penguat (*reinforcement*) dan penahan (*support*) pada batuan.

Menurut McCreath and Kaiser 1992, ada tiga fungsi utama penyangga (Gambar 2), yaitu

- Penguat (*reinforce*): penyangga mempersatukan batuan secara tidak langsung memperbesar ketebalan dan menaikkan ketahanan terhadap pelengkungan
- Pengikat (*Hold*): penyangga batuan harus diikatkan pada suatu daerah yang kuat dan stabil. Penyangga dibebani secara prinsip oleh berat batuan yang disanggah.
- Penahan (*Retain*): penyangga batuan berfungsi sebagai penahan pada bagian yang tidak tercover dan memaksimalkan dari masing-masing fungsi penyangga sehingga kerjanya maksimal untuk menahan beban dari batuan itu sendiri.



Gambar 2. Tiga fungsi utama penyangga

Penentuan sistem penyanggaan yang akan dipasang di tambang bawah tanah harus memperhatikan beberapa kondisi seperti detail lubang bukaan, estimasi tegangan, data geology, estimasi perilaku batuan, dan desain penyangga batuan itu sendiri (*static factor of safety, dynamic factor of safety, deformasi penyanggaan*).

B. Jenis penyanggaan

Pada tambang bawah tanah PT.Freeport Indonesia, memiliki beberapa jenis sistem penyanggaan yang sudah terpasang, jenis penyangganya yang terpasang akan berbeda pada masing-masing area, dikarenakan disesuaikan dengan kondisi dilapangan, kondisi geology, ukuran, kegunaan, dan kedalaman dari lubang bukaan terhadap permukaan pada masing masing area tambang tersebut.

Berikut jenis penyanggaan yang ada di bawah tanah PT.Freeport Indonesia:

1. *Rock bolts – tensioning – grouted* : *Rockbolt* dibutuhkan untuk menahan dari pergerakan batu, *bolt* bekerja dalam dua cara:
 - a. Menyangga batuan yang berpotensi untuk runtuh
 - b. Menahan atau bahkan menghentikan pergerakan batuan.



Gambar 3. *Rockbolt*

2. *Weld Mesh*: biasanya digunakan untuk memperkuat *shotcrete* dan menempelkannya pada batuan dengan diikat pada *bolt* yang dipasangkan *plate*. *Weldmesh* juga berfungsi sebagai bagian *ground support* yang memperluas bidang untuk menahan batuan jatuh.



Gambar 4. *Weldmesh* atau *Wiremesh*

3. *Wire Mesh (Chain Link)* : fungsinya sama seperti *weldmesh* namun *wiremesh* sering digunakan untuk mencegah batuan jatuh dalam ukuran yang relatif kecil.



Gambar 5. *Wire mesh* atau *Chain link*

4. *Shotcrete* merupakan nama umum untuk beton semen – pasir – agregat halus yang diaplikasikan secara pneumatik dan dipadatkan secara dinamik di bawah kecepatan tinggi. Sekarang ini, industri pertambangan merupakan pengguna utama dari *shotcrete* untuk penyangga bawah tanah.



Gambar 6. *Shotcrete* pada batuan

5. *Steel Set & Concrete* sebagai *support passive* yang cukup kuat, menggunakan sifat interaktif karakteristik deformasi beban kedua massa batuan dan penyangga.



Gambar 7. *Stellset* dan *concrete*

6. *Timber*: *Timber* ini masih digunakan sebagai penyangga yang memadai, namun saat ini penyangga ini tidak digunakan dalam sistem penyangga bawah tanah PTFL.

C. Perhitungan sistem penyangga pada Tambang Bawah Tanah

Perhitungan kebutuhan penyangga dalam suatu lubang bukaan di tambang bawah tanah dilakukan dengan memperhatikan dan mempertimbangkan beberapa parameter, *Department Underground Geotechnical* menggunakan formula *Ground Support Scoping Tools* (GSST) untuk membantu dalam perhitungan dasar menentukan kebutuhan penyangga, adapun parameter pada formula GSST yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan penyangga adalah sebagai berikut:

1. Detail dari lubang bukaan

Informasi terkait ukuran dari lubang bukaan pada saat perencanaan, sangat dibutuhkan untuk melakukan perhitungan kestabilan lubang bukaan. Informasi detail yang dibutuhkan adalah penggunaan lubang bukaan, tinggi dan lebar bukaan (meter), bentuk bukaan, dan informasi struktur garis lubang bukaan (*trend & plunge*).



Gambar 6. Bentuk lubang bukaan

Keterangan:

1. *Elliptical Vertical*; 2. *Long Horseshoe*; 3. *Oval Vertical*; 4. *Horseshoe*; 5. *Horseshoe – curved Walls*; 6. *Circular*; 7. *Elliptical Horizontal*; 8. *Square*; 9. *Oval Horizontal*

Ground Support Scoping Tool (GSST)

Version: 1.0-2015_0305

Date	
Drawing Number	
Area Assessed	
Ground Support Zone #	
Designer	

Input Following Fields	Value	Units
Excavation Details		
Excavation Use Designation	Zone2: Medium Occupancy/Exposure	meters
Span (D _w)	5.5	meters
Height (D _h)	5.5	meters
Equivalent Radius (m)- Roof	3.89	meters
Equivalent Radius (m)- Wall	3.89	meters
Shape	4: Horseshoe	
Trend	56	degrees
Plunge	0	degrees

Print Drift Ground Support Design Print 3-Way Ground Support Design Print 4-Way Ground Support Design

Please Select Printer Prior to Pressing Buttons Above

Gambar 8. Excavation detail tab

2. Perkiraan besaran tegangan (*stress estimator*)

Dalam menentukan besaran tegangan yang ada disekitar lubang bukaan didapat dari hasil modeling menggunakan *software*, adapun parameter yang dimasukan adalah σ_1 dan σ_3 .

DMLZ Mine Coordinate Range Entry

MINE COORDINATES

	Easting	Northing	Elevation
Minimum	730000	9540000	0
Maximum	1000000	10000000	5000

MODEL COORDINATES

	Easting	Northing	Elevation
Minimum	0	0	0
Maximum	270000	460000	5000

Run Stress Tensor Query

Gambar 9. Stress estimator tab

3. Karakteristik massa batuan

Karakteristik massa batuan yang dibutuhkan dalam parameter ini adalah *rock density*, RQD, Q value, dan beberapa parameter lainnya sebagai *miscellaneous*.

Rock Mass Characteristics

Input Parameters/Values	Calculated Value
Rock Mass Rating (RMR)	37.50
Q	1.65
GSI	4.13
Geologic Strength Index, GSI	40.90
Rock Mass Rating, RMR _{RF}	71.00

Rock Mass Characteristics

Rock Density (ρ_r)	2900	kg/m ³
Rock Quality Designation (RQD)	75	NA
Estimated RQD from FF	77	NA
Number of Joint Sets (J _n)	3+ Random	NA
Joint Roughness (J _r)	Rough Undulating	NA
Joint Alteration (J _a)	Slightly Altered Walls	NA
Joint Persistence (J _p)	5-10m	NA
Fracture Frequency (FF)	9	m/m
Ground Water (J _w)	Dry or Minor inflow	NA
Strength Reduction Factor (SRF)	15	NA
Competent Rock SRF (Peck, 2000)	NA	NA
Excavation Support Ratio (ESR)	1.3	NA
Uniaxial Compressive Strength (σ_c)	60	MPa
Joint Spacing (J _s)	200-500mm	NA
Estimated Joint Spacing	0.11	meters
Estimated Block Side Length	0.23	meters
Estimated Block Size	0.012	m ³

Miscellaneous Calc's

Equivalent Dimension, D _e (Span/ESR) (Roof)	4.2
Equivalent Dimension, D _e (Span/ESR) (Wall)	4.2
Ground Type Category Estimate	4

Gambar 10. Rock mass characteristics tab

4. Penilaian potensi besaran baji atau *wedge*

Perkiraan dari besaran baji atau *wedge* yang didapat dari beberapa parameter seperti ukuran lubang bukaan, *density* batuan, dan tinggi baji yang didapat dari informasi *drilling core* yang berada dekat pada area tersebut.

Calculation Parameters	Value	Units
Drift Span	5.50	m
Wedge Height (Apex Height)	1.83	m
Density	2900.00	kg/m ³
Block Area	13.10	m ²
Block Volume_Tetrahedron	8.00	m ³
Weight of Block_Tetrahedron	0.228	MN
Support Requirements	0.017	MN/m ²
Factor of Safety (Scaled)	7.84	Factor of Safety

Gambar 11. Wedge potential tab

5. Design penyangga untuk potensi terjadi ledakan batuan secara batuan atau *burst*

Potensi ledakan secara tiba-tiba pada tambang bawah tanah dengan kedalaman yang jauh dari permukaan adalah suatu hal yang tidak bisa dihindari, oleh karena itu parameter ini perlu dimasukan dalam perhitungan untuk menentukan penyangga yang digunakan.

Bursting Support Assessment (Assumes Proper Element Tie In)

--- Assumes the anticipated damage mechanism is bulking with ejection

Bulking Assessment	Value	Units
Bulking Factor	5%	
Bulking Displacement Roof	0.00	m
Bulking Displacement Rib	0.00	m
Bulking Displacement Floor	0.00	m

Ejection Assessment	Value	Units
Gravity (g)	9.81	m/s ²
Ejection Mass (Roof/Floor)	0.00	kg/m ²
Ejection Weight (Roof/Floor)	0.00	kN/m ²
Ejection Mass (Rib)	0.00	kg/m ²
Ejection Weight (Rib)	0.00	kN/m ²
Ejection Velocity (v _e)	1.500	m/s
Ejection Energy (Roof)	0.001	kJ
Ejection Energy (Rib)	0.001	kJ
Ejection Energy (Floor)	0.001	kJ
Support Capacity Roof (Scaled)	23.725	kJ
Support Capacity Rib/Wall (Scaled)	21.182	kJ
Support Capacity Floor (Enter Value)	0.000	kJ

Anticipated Support Condition Following Event

Roof/Back Support	Support Will Experience Little or No Damage
Wall/Rib Support	Support Will Experience Little or No Damage
Floor Support	No Support Specified

Gambar 12. Rockburst support assessment tab

6. Kedalaman kerusakan pada lubang bukaan (*Depth of Failure*)

Kerusakan yang terjadi pada batuan akibat adanya aktifitas *mining* seperti *blasting development* dan aktifitas *mining* lainnya tidak bisa dihindari dan perlu dimasukan didalam parameter sebagai salah satu yang bisa mempengaruhi hasil perhitungan.

Massive Rock

Spalling Depth Wall/Rib - (Ratio σ_{max}/σ_c)	0.179	
Spalling Depth of Failure (Diederichs & Martin 2010)	0.00	meters
Bulking Displacement (5% Bulking)	0.00	meters
Spalling Depth Roof/Back - (Ratio σ_{max}/σ_c)	0.367	
Spalling Depth of Failure (Diederichs & Martin 2010)	0.00	meters
Bulking Displacement (5% Bulking)	0.00	meters

Damage Levels Massive Rock (Assuming 0.4 Spalling Threshold)

σ_{max}/σ_c	Description of Fracturing
< 0.35	No or little damage
0.35 to 0.45	Minor
0.45 to 0.55	Moderate
0.55 to 0.7	Moderate to Major *
> 0.7	Major *

*Potential for Strain Burst

Heavily Jointed Rock or Soil

Static Depth of Failure Wall/Rib	0.00	meters
Depth of Failure Static (F _s)	0.116	% strain
Tunnel Squeeze Chart (% closure strain)	0.008	meters
Static Depth of Failure Roof/Back	0.00	meters
Depth of Failure Static (F _s)	0.296	% strain
Tunnel Squeeze Chart (% closure strain)	0.016	meters

Damage Levels Heavily Jointed Rock

%Strain	Description of Damage
< 1%	No or Little Damage
1-2.5%	Minor Damage
2.5-5%	Severe Squeezing
5-10%	Very Severe Squeezing
> 10%	Extreme Squeezing

Gambar 13. Depth of failure tab

7. Urutan pemasangan sistem penyangga

Sistematik dalam pemasangan penyangga dibutuhkan untuk memastikan dari masing-masing fungsi penyangga yang terpasang sesuai dengan

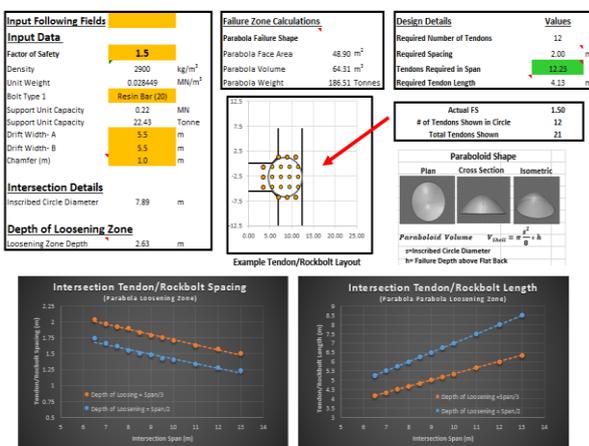
kebutuhan dilapangan dan berfungsi.

Excavation Dimensions	Value	Units
Drift Span (D _{dr})	5.5	meters
Drift Height (D _{dr})	7	meters
Tunnel Arch Radius	1.00	meters
Ground Support Design		
Surface Support		
Layer 1	Mesh (5.6mm)	
Layer 2	Plain Shotcrete	
Layer 3	None	
Bolt Design 1		
Bolt Type	SplitSet	meters
Distance to First Bolt	16.00	meters
Number of Bolts	1.18	meters
Ring Spacing	1.18	meters
Rockbolt Spacing	2.6	meters
Design Bolt Length Guidance, L _d	3	meters
Bolt Length	17.64	meters
Excavation Perimeter		
Bolt Design 2		
Bolt Type	Cable Bolt (15.2)	
Bolt Installation Locations (Back Only, Rib Only, Both)	Back Only	
Distance to First Bolt	0.8	meters
Number of Bolts	14.00	meters
Ring Spacing	1.50	meters
Rockbolt Spacing	1.51	meters
Bolt Length	5	meters
Ring Spacing Offset	0.7	meters
Excavation Perimeter	17.04	meters
Ground Support Capacity Checks		
STATIC Design Factor of Safety (FS)		
DYNAMIC Design Factor of Safety (FS)		
General		
Available Support Pressure (No Shotcrete)	0.183	MPa
Available Support Pressure (Scaled)	0.136	MPa
Displacement		
Available Displacement Capacity	130	mm
Required Displacement Roof/Back	0	mm
Required Displacement Rib	0	mm
Static Capacity		
Available Roof/Back Wedge Capacity (Scaled)	13.31	Tonnes/m ²
Required Roof/Back Wedge Capacity	1.774	Tonnes/m ²
Roof/Back Wedge Factor of Safety	>3	
Available Roof/Back Depth of Failure Capacity (Scaled)	18.62	Tonnes/m ²
Required Roof/Back Depth of Failure Capacity	0.00	Tonnes/m ²
Static Roof/Back Factor of Safety	NA	
Available Rib Depth of Failure Capacity (Scaled)	7.74	Tonnes/m ²
Required Rib Depth of Failure Capacity	0.00	Tonnes/m ²
Static Rib Factor of Safety	NA	
Dynamic Capacity		
Available Energy Capacity Roof/Back (Scaled)	23.72	kJ
Required Energy Capacity Roof/Back	0.00	kJ
Dynamic Roof/Back Factor of Safety	>3	
Available Energy Capacity Rib (Scaled)	21.18	kJ
Required Energy Capacity Rib	0.00	kJ
Dynamic Rib Factor of Safety	>3	

Gambar 14. Schematic sistem penyangga

8. Intersection

Intersection adalah lubang bukaan yang mempunyai ukuran yang lebih besar karena adanya persimpangan pada lubang bukaan.



Gambar 15. Parameter intersection tab

III. PENYANGGAAN YANG TERPASANG DI TAMBANG BAWAH TANAH DMLZ

Sistem penyangga ditambang bawah tanah DMLZ telah mengalami beberapa perubahan dikarenakan

kondisi perubahan tegangan aktual yang terjadi akibat adanya perubahan arah dari tegangan (*stress*) akibat adanya aktifitas *mining* (*blasting dan mucking*). Penyangga dibagi menjadi dua bagian, yaitu penyangga primer dan sekunder, penyangga primer yaitu penyangga yang dipasang pada tahap awal atau *development* setelah dilakukannya peledakan pada lubang bukaan, sedangkan penyangga sekunder adalah penyangga yang dipasang sebagai penyangga pada tahap akhir dan berguna sebagai penyangga yang bersifat permanen pada lubang bukaan.

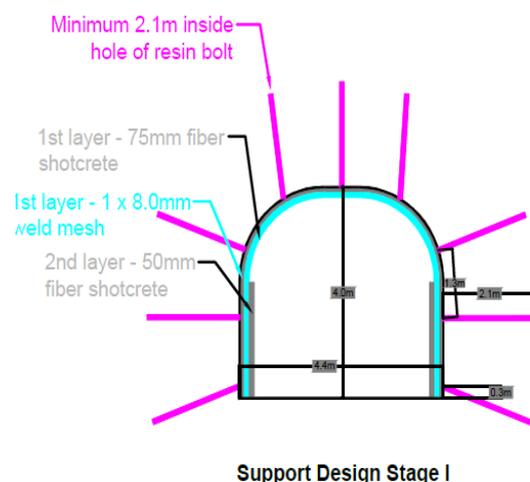
Sejalan dengan adanya perubahan kondisi tegangan dan kerusakan yang terjadi akibat semburan batuan di level ekstraksi dan *undercut* pada tambang DMLZ serta pekerjaan *development* secara luas di level ekstraksi dan *undercut*, maka dibutuhkan penambahan sistem penyanggaan batuan baik penyangga primer maupun sekunder untuk memastikan jalannya kegiatan penambangan secara aman dan selamat.

Sistem penyangga yang telah terpasang di tambang bawah tanah DMLZ dibagi menjadi beberapa bagian area Utama yaitu: Area Ekstraksi, Area *Undercut*, Area Pengangkutan Biji, dan Area Ventilasi.

1. Area Ekstraksi

Area ekstraksi adalah area pengambilan material atau *ore* setelah dilakukan *blasting* di *drawbell* pada tambang dengan metode *block caving*, pada area ini penyangga yang dipasang terbagi menjadi bagian primer dan sekunder, dengan ukuran lubang bukaan 4.4 m lebar dan 4 m tinggi.

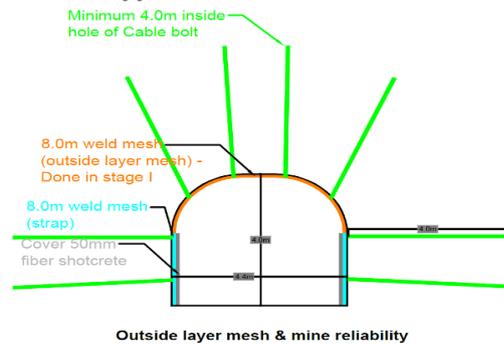
- Penyangga Primer: *Hydroscale, In-cycle 75mm thickness of fiber shotcrete, Install 8.0mm thickness of weld mesh, 2.1m long of resin bolt, 50mm thickness of fiber shotcrete.*



Gambar 16. Penyangga primer area ekstraksi

- Penyangga Sekunder: *Install 8.0mm thickness of weld mesh, 4.0m long of cable bolt, 50mm*

thickness of fiber shotcrete.

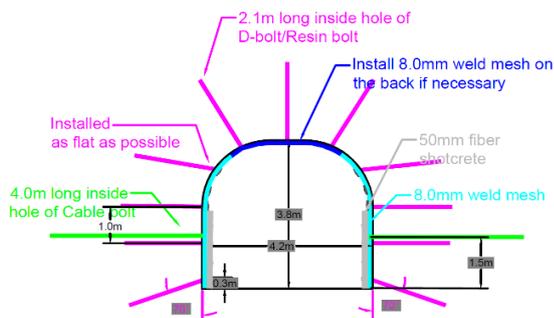


Gambar 15. Penyangga sekunder area ekstraksi

2. Area Undercut

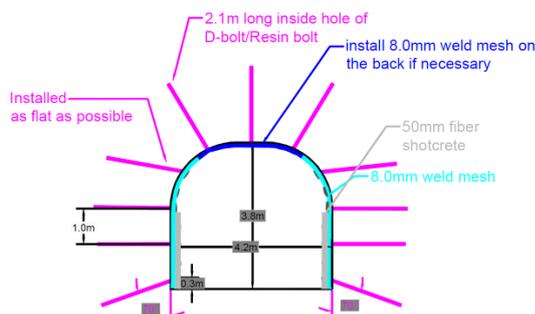
Area ambrukan tempat biji yang akan di ambil dengan cara diledakan pada level ini lubang bukaannya bersifat sementara (*temporary*) yang selanjutnya akan di ambrukan semua dengan cara diledakan. Penyangga dibutuhkan untuk memastikan pada saat aktifitas drilling dan peledakan dilakukan aman bagi para pekerja. Dengan ukuran lubang bukaan 4.2 m lebar dan 3.8 m tinggi.

- Penyangga Primer: *Hydroscale, In-cycle 75mm thickness of fiber shotcrete, 8.0mm thickness of weld mesh, 2.1m long of resin bolt, 50mm thickness of fiber shotcrete.*



Gambar 16. Penyangga primer area undercut

- Penyangga Sekunder: *Install 8.0mm thickness of weld mesh (as strap), 4.0m long of cable bolt, 50mm thickness of fiber shotcrete.*

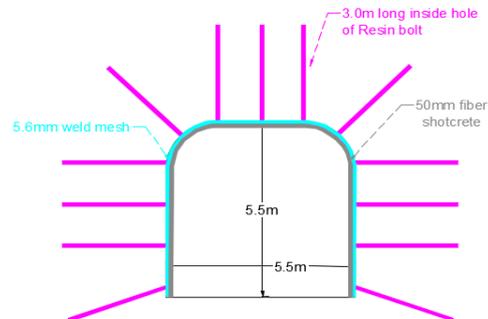


Gambar 17. Penyangga sekunder area undercut

3. Area Pengangkutan material (*Truck Haulage*)

Area tempat pengambilan bijih dari level ekstraksi dan di angkut ke *crusher*. Dengan ukuran lubang bukaan lebar 5.5m & tinggi 5.5 - 6.0m.

- Penyangga Primer: *5.6mm Weld Mesh and 3.0m long of Resin Bolt,*
- Penyangga Sekunder: *50mm thickness of Fiber Shotcrete.*

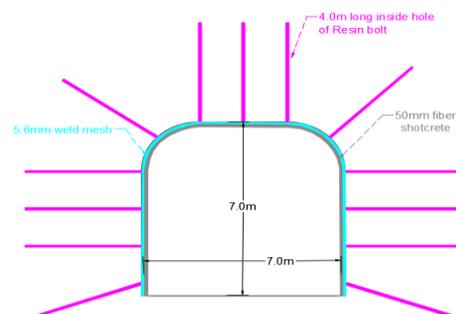


Gambar 18. Penyangga primer dan sekunder area *truck haulage*

4. Area Ventilasi (*Intake dan Exhaust*)

Area ini digunakan sebagai area khusus untuk *supply* kebutuhan udara atau ventilasi dari dalam dan luar area tambang untuk *supply* udara yang dibutuhkan di tambang bawah tanah. Ukurannya bervariasi, section yang ditampilkan dengan ukuran lubang bukaan 7 meter tinggi dan 7 meter lebar

- Penyangga Primer: *4.0m long of resin bolt with spacing 1.3m x 1.3m; regular pattern.*
- Penyangga Sekunder: *50mm fiber shotcrete from back until floor.*



Gambar 19. Penyangga primer dan sekunder area ventilasi

IV. KESIMPULAN

Fungsi dari penyangga adalah *reinforce, hold, dan retain*, tiga fungsi tersebut merupakan satu kesatuan yang tidak bisa dipisahkan dalam sebuah perencanaan pemasangan penyangga pada tambang bawah tanah.

Pemasangan penyangga (*rockbolt, mesh, shotcrete,*

dan *stallset*) tidak dapat mencegah kerusakan (*failure*) pada massa batuan disekitar lubang bukaan akibat adanya tegangan yang besar, akan tetapi penyangga mempunyai peran yang sangat penting dalam mengendalikan proses kerusakan atau deformasi pada lubang bukaan atau terowongan.

Pemasangan penyangga di tambang bawah tanah DMLZ memerlukan analisis secara kontinu, dalam suatu penentuan penyangga tidak didapat hal yang baku dan akan selalu dilakukan *review* sejalan dengan perkembangan dan kondisi dilapangan. Begitu juga dengan penggunaan formula *Ground Support Scoping Tools* hanya digunakan sebagai panduan dan bukan merupakan hal yang baku dan sesuai dengan hasil yang didapat dari perhitungan menggunakan formula.

V. PENUTUP

Terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada manajemen PT Freeport Indonesia yang telah

memberikan izin dan dukungannya sehingga makalah ini dapat di publish dan kepada seluruh *engineer Underground Geotech DMLZ* yang membantu dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Beck Engineering, 2015 “Ground Support Scoping Tools” Geotechnical Consultants, Canada.

Kaiser, P, “Ground Support Review after Burst on Oct 2016”, PT.Freeport Indonesia Internal Discussion and Report.

Purba A, et al (2016) “Typical Ground Support at Undercut & Extraction Level”, Internal Report, UG Geotech & Hydrology, PT. Freeport Indonesia.

Underground Geotech DMLZ, (2016) “Typical Ground Support at Ventilation Level”, Internal Report, UG Geotech & Hydrology, PT.Freeport Indonesia.