

# CONVERGENCE MONITORING UNTUK PREVENTIVE SUPPORT MAINTENANCE BERDASARKAN NILAI POTENTIAL DISPLACEMENT PADA AREA CONVEYOR DEEP MILL LEVEL ZONE, PT FREEPORT INDONESIA

Margaret Aubrey Larasingati<sup>1a</sup>, Bagus Wiyono<sup>1</sup>, Singgih Saptono<sup>1</sup>, Shenny Linggasari<sup>1</sup>, Doli Jumat Rianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

<sup>2</sup>Universitas Muaro Bungo

<sup>a</sup>email: [ekamalinda@gmail.com](mailto:ekamalinda@gmail.com)

## Abstrak

Area conveyor drift tambang bawah tanah DMLZ sangatlah penting dan kritis untuk kegiatan transportasi bijih, sehingga diperlukan pemantauan dan perawatan drift. Tambang bawah tanah yang semakin dalam dapat mengakibatkan penggalian bawah tanah menjadi lebih rentan terhadap kerusakan dan desain tambang menjadi lebih rapuh. Pendekatan desain ground support berdasarkan potensi deformasi ketika terjadi displacement akibat adanya tekanan perlu dilakukan karena saat ground support mengalami deformasi, masing-masing kapasitas ground support berkurang secara bertahap menjadi nol. Pendekatan tersebut dapat dikembangkan dengan implementasi Preventive Support Maintenance (PSM), dimana pemasangan tambahan ground support dilakukan sebelum area tersebut membutuhkan rehabilitasi. Penelitian dilakukan dengan pengambilan data displacement yang terjadi di tiap stasiun sepanjang area drift conveyor DMLZ menggunakan alat ukur konvergen. Data displacement kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan nilai cumulative displacement dan incremental velocity, sehingga dapat membuat klasifikasi PSM berdasarkan nilai potensi displacement dan kapasitas ground support yang telah terpasang di area tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data pengukuran dari bulan Mei 2022 sampai dengan April 2023 tidak terjadi displacement yang signifikan. Pengaruh displacement yang terjadi sepanjang area drift conveyor DMLZ sampai saat ini belum menimbulkan kerusakan yang tampak secara visual, namun kegiatan pemantauan tetap perlu dilakukan secara berkala. Klasifikasi PSM telah dibuat berdasarkan potensi displacement, dimana action plan yang disarankan untuk PSM yaitu pemasangan ground support berupa MDX bolt sepanjang 3 m dengan spasi 1,1 m.

Kata kunci: ground support, displacement, preventive support maintenance

## Abstract

The DMLZ underground mine drift conveyor area is very important and critical for ore transportation activities, so drift monitoring and maintenance are required. Deeper underground mines can result in underground excavations becoming more vulnerable to damage and more fragile mine designs. A ground support design approach based on the potential for deformation, when displacement occurs due to pressure, is necessary because when the ground support is deformed, each ground support capacity decreases gradually to zero. This approach can be developed by implementing Preventive Support Maintenance (PSM), where additional ground support is installed before the area requires rehabilitation. The research is carried out by taking displacement data that occurred at each station along the DMLZ drift conveyor area using a convergence measurement tool. Displacement data is then processed to obtain cumulative displacement and incremental velocity values so that a PSM classification can be made based on the displacement potential value and the installed ground support capacity in the area. The results of the study show that the measurement data from May 2022 to April 2023 did not show significant displacement. The effect of displacement that occurs along the DMLZ drift conveyor area has so far not caused any visible damage, but monitoring activities still need to be carried out periodically. PSM classification has been made based on potential displacement, where the recommended action plan for PSM is the installation of ground support in the form of MDX bolts 3 m long and a spacing of 1.1 m.

Keywords: ground support, displacement, preventive support maintenance

## I. PENDAHULUAN

Tambang bawah tanah Deep Mill Level Zone (DMLZ) merupakan tambang bawah tanah yang terletak pada kedalaman 1,8 Km di bawah permukaan tanah. DMLZ menggunakan metode block caving. Kegiatan transportasi bijih dari DMLZ menuju stockpile menggunakan conveyor system dengan panjang  $\pm 10$  Km. Conveyor system yang dimiliki oleh DMLZ terdiri dari

conveyor 510, 511, 512 dan 514 yang terletak di level undercut 2400/L hingga 3100/L. Area conveyor perlu pemeliharaan dan perawatan untuk menjaga kelancaran kegiatan transportasi bijih.

Tambang bawah tanah yang semakin dalam mengakibatkan penggalian bawah tanah menjadi lebih rentan terhadap kerusakan dan desain tambang menjadi lebih rapuh, sehingga ground support tidak hanya harus dirancang untuk kesetimbangan beban tetapi juga harus kompatibel dengan deformasi yang diterima. Tujuan dari

ground support system adalah untuk menahan, mempertahankan dan mengontrol pergerakan batuan yang mengalami stress-fractured yang terlibat dalam proses bulking, dan mencegah penguraian, atau pelepasan batuan (Kaiser et al., 1996).

Pendekatan desain ground support berdasarkan potensi deformasi diperlukan ketika terjadi displacement akibat adanya tekanan. Kapasitas displacement yang dimiliki oleh masing-masing ground support berkurang secara bertahap menjadi nol saat ground support mengalami deformasi. *Preventive Support Maintenance* (PSM) yang dikembangkan dengan melihat cumulative displacement dapat memulihkan kapasitas ground support yang berkurang di area tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai displacement yang terjadi di tiap stasiun konvergen pada area *drift conveyor DMLZ* beserta pengaruhnya. Selain itu, klasifikasi *Preventive Support Maintenance* berdasarkan displacement beserta rekomendasi *action plan* yang perlu dilakukan sebelum area tersebut membutuhkan rehabilitasi juga didapatkan.

**II. METODE**

Langkah awal penelitian adalah melakukan pengukuran displacement menggunakan alat ukur konvergen. Pengukuran dilakukan di tiap stasiun konvergen di sepanjang area *conveyor drift DMLZ* yang berjumlah 29 stasiun. Setelah mendapatkan nilai displacement, kemudian menghitung nilai cumulative displacement dan incremental velocity. Cumulative displacement nantinya akan digunakan untuk membuat *Preventive Support Maintenance* berdasarkan potensi displacement, sedangkan incremental velocity sebagai penentuan kriteria kestabilan terowongan berdasarkan laju perpindahan yang terjadi (Cording,1974).

**Cumulative Displacement**

Cumulative displacement merupakan penjumlahan dari semua displacement pada tiap stasiun dari pengukuran pertama sampai pengukuran terakhir untuk menentukan banyaknya displacement yang terjadi pada suatu stasiun. Perhitungan cumulative displacement dilakukan dengan mengakumulasikan semua nilai displacement di setiap stasiun seiring bertambahnya waktu. Data cumulative displacement yang didapat akan menjadi parameter dasar dalam analisis selanjutnya baik untuk keamanan lubang bukaan maupun evaluasi penyanggaan.

**Incremental Velocity**

Incremental velocity diperhitungkan untuk menentukan laju perpindahan yang terjadi dalam rentang waktu tertentu. Tujuan dari incrementa velocity adalah untuk memantau apabila terjadi sebuah lonjakan displacement dalam sebuah stasiun konvergen. Perhitungan incremental velocity dilakukan dengan rumus:

$$v = \frac{l_n - l_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \tag{1}$$

Keterangan :

$v$  = incremental velocity (mm/hari)

$l_n$  = angka pengukuran displacement (mm)

$l_{n-1}$  = angka pengukuran displacement sebelumnya (mm)

$t_n$  = waktu pengukuran displacement (hari)

$t_{n-1}$  = waktu pengukuran displacement sebelumnya (hari)

Cording (1974) dalam menentukan kriteria kestabilan berdasarkan kecepatan perpindahan, tidak menyertakan data tentang kondisi massa batuan, jenis penyangga yang dipakai dan tempat melakukan pemantauan. Penentuan kriteria kestabilan terowongan didasarkan pada laju perpindahan. Cording (1974) memiliki kriteria untuk brittle rock yang dapat dijadikan salah satu acuan dalam menentukan kestabilan sebuah area dalam terowongan, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

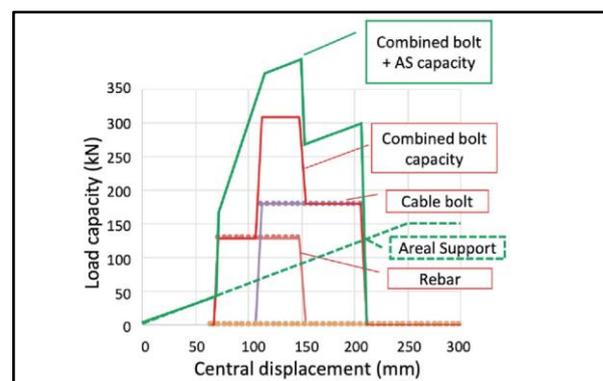
Tabel 2. Kriteria Perpindahan (Cording, 1974)

| Incremental Velocity (mm/hari) | Kriteria       |
|--------------------------------|----------------|
| 0,001                          | Stabil         |
| 0,001 – 0,5                    | Relatif Stabil |
| ≥ 1                            | Tidak Stabil   |

Kriteria Cording menunjukkan jika incremental velocity 0,001 mm/hari, area dapat dikatakan stabil. Incremental velocity bernilai 0,001 mm/hari hingga 0,5 mm/hari dikatakan relatif stabil, dan incremental velocity bernilai lebih dari 1 mm/hari dikatakan tidak stabil.

**Support System Load Capacity**

Load capacity dari sistem penyanggan harus lebih tinggi dari permintaan beban untuk mencegah kegagalan, statis yang dihasilkan bolt displacement harus lebih kecil dari displacement yang diperlukan untuk mencapai load maksimum dari salah satu jenis bolt yang membentuk support system. Hubungan antara system load capacity dengan nilai displacement yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan load capacity dan displacement

Kebutuhan load capacity sebuah support system bergantung pada static load yang dimiliki oleh masing-masing komponen ground support. Ground support yang dipasang dapat diasumsikan bahwa menjadi tegang secara bersamaan tetapi dapat diaktifkan pada displacement awal yang berbeda.

### Kapasitas Ground Support

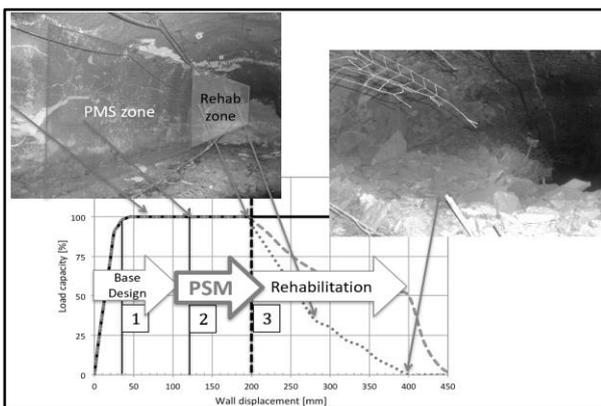
Ground support system bertujuan untuk menahan, mempertahankan dan mengontrol pergerakan batuan yang mengalami *stress-fractured* yang terlibat dalam proses bulking, dan mencegah penguraian atau pelepasan batuan ke dalam penggalian (Kaiser et al., 1996). Ground support memiliki berbagai spesifikasi tergantung kegunaannya, ground support juga memiliki kapasitas tersendiri ketika area mengalami *displacement* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kapasitas Ground Support

| Bolt Type  | Listed Capacity (MN) | Displacement Capacity (mm) |
|------------|----------------------|----------------------------|
| Split Set  | 0,35                 | 0                          |
| MDX Bolt   | 0,15                 | 80                         |
| Resin Bar  | 0,29                 | 50                         |
| Cable Bolt | 0,25                 | 75                         |
| D-Bolt     | 0,25                 | 150                        |

### Preventive Support Maintenance

PSM (*Preventive Support Maintenance*) merupakan sebuah program dimana tambahan *ground support* dipasang berdasarkan *displacement* yang telah diukur pada *drift*. PSM harus dipasang untuk meningkatkan kapasitas sistem *ground support* dan ketahanannya terhadap *displacement* yang akan datang dan support demand sebelum FoS jatuh di bawah yang seharusnya. Pembuatan PSM dilakukan berdasarkan kapasitas *displacement* yang dimiliki oleh *ground support* yang telah terpasang dan kapasitas tambahan *ground support* yang akan dipasang sebelum batas maksimum *wall displacement* pada area tersebut runtuh (lihat Gambar 2).



Gambar 2. PSM design

Pendekatan desain *ground support* berdasarkan deformasi yang terjadi untuk *brittle-ground* diperlukan ketika *displacement* terjadi akibat stress setelah terpasangnya penyangga menghabiskan banyak kapasitas *ground support*. PSM yang efektif bergantung pada identifikasi awal dari penggalian yang rentan terhadap *displacement* berlebihan untuk pemasangan *ground support* secara tepat waktu berdasarkan kelas kerusakannya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

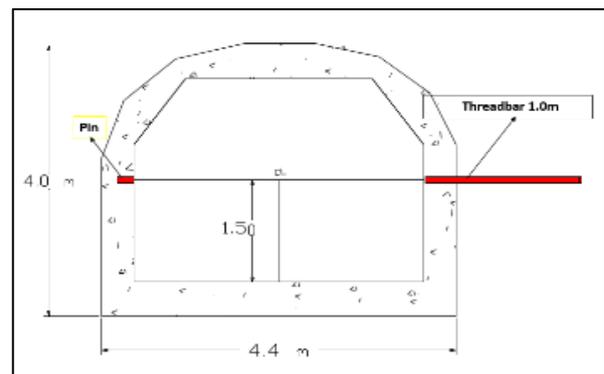
Data yang didapatkan pada saat penelitian dikumpulkan lalu dilakukan pengolahan sebagai berikut,

#### Base Ground Support

Ground support di sepanjang lubang bukaan *conveyor* 510, 511, 512, dan 514 yang terpasang diantaranya *weld mesh* ditambah *splitset* galvanis dengan spasi 1,5 m, baut pertama 0,5 m dari lantai, sedangkan *support* sekunder terdiri dari *fiber shotcrete* setebal 50 mm, *floor-back-floor* dan panjang *thread bar* 3,0 m dengan jarak 1,5 m, baut pertama 0,7 m dari lantai. Pin untuk stasiun konvergen dipasang menggunakan *threadbar* dengan panjang 1 m dan jarak dari *floor* sebesar 1,5 m

#### Pengukuran Displacement

Pengukuran *displacement* dilakukan sebanyak satu kali tiap minggu dengan menggunakan alat ukur konvergen pada setiap stasiun yang terpasang di sepanjang *drift conveyor* 510 hingga *drift conveyor* 514 dapat dilihat pada Gambar 3.

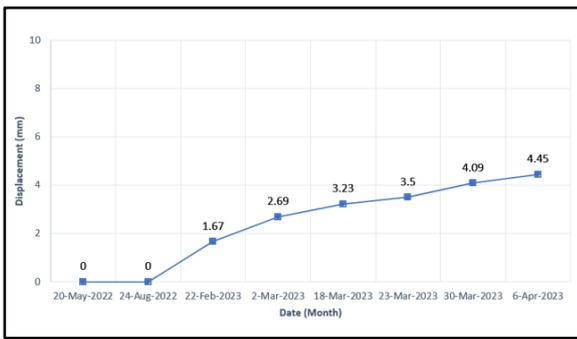


Gambar 3. Sketsa Pengukuran Konvergen

Pengambilan nilai *displacement* dilakukan di tiap stasiun konvergen yang telah terbagi menjadi 29 stasiun dengan masing-masing stasiun berjarak 100 m hingga 150 m. Total panjang dari keseluruhan *drift conveyor* adalah 12,79 m. Pada *conveyor* 510 terdapat 4 stasiun, *conveyor* 511 terdapat 7 stasiun, *conveyor* 512 terdapat 5 stasiun, dan *conveyor* 514 terdapat 13 stasiun

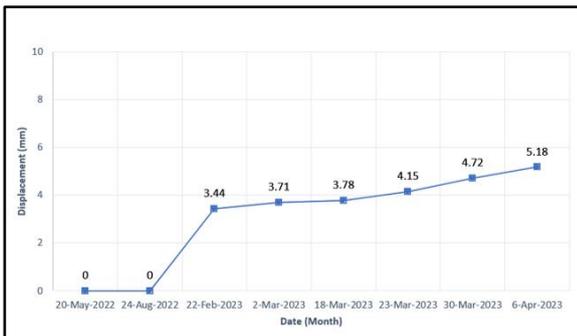
#### Analisis Cumulative Displacement

Perhitungan *cumulative displacement* dilakukan dengan mengakumulasi nilai *displacement* pada tiap stasiun seiring bertambahnya waktu. Hasil perhitungan pada *conveyor* 514 dengan nilai *cumulative displacement* tertinggi terdapat pada stasiun XC3-5A sebesar 4,45 mm dapat dilihat pada Gambar 4.



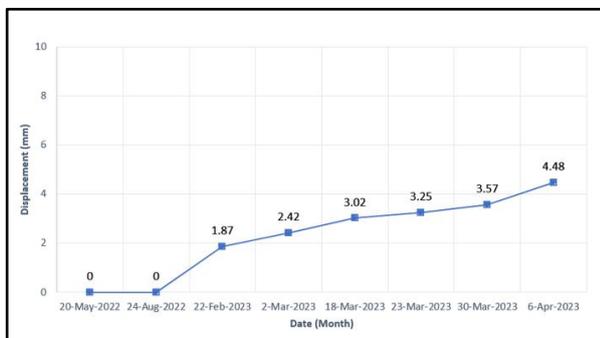
Gambar 4. Cumulative Displacement STA XC3-5A

Hasil perhitungan pada conveyor 512 dengan nilai cumulative displacement tertinggi terdapat pada stasiun XC4-03 sebesar 5,18 mm dapat dilihat pada Gambar 5.



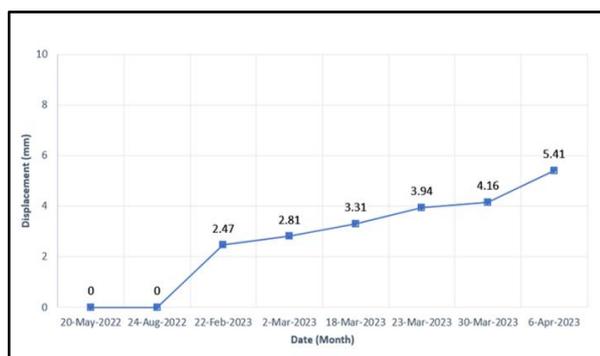
Gambar 5. Cumulative Displacement STA XC4-03

Hasil perhitungan pada conveyor 511 dengan nilai cumulative displacement tertinggi terdapat pada stasiun XC6-05 sebesar 4,48 mm dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Cumulative Displacement STA XC6-05

Hasil perhitungan pada conveyor 510 dengan nilai cumulative displacement tertinggi terdapat pada stasiun XC2-02 sebesar 5,41 mm dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Cumulative Displacement STA XC2-02

Pada drift conveyor 510, 511, 512 dan 514 dapat dilihat bahwa terjadi lonjakan displacement pada pengukuran dari tanggal 24 Agustus 2022 sampai 22 Februari 2023, dimana selisih displacement pada tiap stasiun mencapai kurang lebih 2 mm.

### Analisis Incremental Velocity

Kecepatan perpindahan perhari terbesar tercatat pada Stasiun CV510-XC2-02 sebesar 0,18 mm/hari yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Kriteria Incremental Velocity

| Stasiun      | Incremental Velocity (mm/hari) | Kriteria       |
|--------------|--------------------------------|----------------|
| CV510-CX2-02 | 0,18                           | Relatif Stabil |
| CV511-XC6-05 | 0,12                           | Relatif Stabil |
| CV512-XC5-04 | 0,13                           | Relatif Stabil |
| CV514-XC2-04 | 0,11                           | Relatif Stabil |

Meskipun seluruh area drift conveyor masih dikategorikan sebagai area yang masih stabil, namun kegiatan monitoring perlu untuk dilakukan secara berkala. Untuk mendapatkan hasil monitoring yang lebih akurat, selain dilakukan pengukuran konvergen dapat dilakukan juga kegiatan damaged mapping. Kegiatan damaged mapping dilakukan supaya pemantauan area juga dapat diklasifikasikan dari kelas kerusakan yang tampak secara visual.

### Perhitungan Threshold Value dan Kapasitas Threadbar

Pembuatan klasifikasi Preventive Support Maintenance (PSM) perlu menentukan threshold value terlebih dahulu. Threshold value diperlukan untuk mengetahui batas maksimum wall displacement yang mampu ditahan sebelum dilakukan massive rehabilitation. Panjang ground support dibuat dengan mempertimbangkan dimensi drift, dimana panjang maksimum yang dapat dipasang sebesar 3 m. Database ground support menunjukkan area DMLZ menggunakan threadbar dengan panjang 3 m dan spasi 1,5 m. Threadbar memiliki critical bond length 1 m dan depth of failure sebesar 2 m yang diperoleh dari monitoring borehole camera pada saat awal kegiatan development DMLZ.

$$\text{Bulking Factor} = \frac{\text{Wall Displacement}}{\text{Depth of Failure}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Wall Displacement} &= \text{BF} \times \text{Depth of Failure} \\ &= 5\% \times 2000 \text{ mm} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Threshold value displacement sebesar 100 mm merupakan batas maksimum displacement sebelum area tersebut membutuhkan rehabilitasi. Apabila dalam kondisi nilai depth of failure melebihi 2 meter, panjang ground support yang dibutuhkan pada area tersebut harus lebih dari 3 meter. Perhitungan kapasitas ground support berdasarkan asumsi bahwa sebelum pemasangan ground support telah terjadi displacement sebesar 25 milimeter

dan ketentuan bahwa *ground support* yang telah terpasang adalah *threadbar* sepanjang 3 meter, spasi 1,5 meter dan kapasitas *displacement* sebesar 50 milimeter. Selain itu, digunakan *safety bumper* sebesar 25% sebagai perisipan waktu untuk pemasangan tambahan *ground support* sebelum kapasitas *threadbar* sepenuhnya terpakai. Perhitungan kapasitas *threadbar* menggunakan rumus sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Wall Disp} &= \text{Disp. Capacity} \times \text{Safety Bumper} \\ &= 50 \text{ mm} \times 25\% \\ &= 37,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan asumsi bahwa telah terjadi *displacement* sebesar 25 milimeter,

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Threadbar} &= 37,5 \text{ mm} + 25 \text{ mm} \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Threadbar* hanya dapat menahan *wall displacement* ketika telah mencapai 62,5 mm. Dengan terjadinya *wall displacement* sebesar 62,5 mm, maka *depth of failure* yang terkonsumsi di area tersebut sebesar 1,25 m, dihitung berdasarkan persamaan,

$$\begin{aligned} \text{Depth of Failure} &= \frac{\text{Wall Displacement}}{\text{Bulking Factor}} \\ &= \frac{62,5 \text{ mm}}{5\%} \\ &= 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Perhitungan Kapasitas MDX Bolt terhadap Displacement

Ketika *wall displacement* sudah mencapai 62,5 milimeter, perlu pemasangan tambahan *ground support*. Berdasarkan dimensi, kondisi dan ketersediaan PT Freeport Indonesia, *ground support* tambahan yang dipasang adalah MDX bolt dengan panjang 3 meter dan kapasitas *displacement* sebesar 80 mm. Sama seperti *threadbar* sebelumnya, persamaan yang digunakan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Wall Disp.} &= \text{Disp. Capacity} \times \text{Safety Bumper} \\ &= 80 \text{ mm} \times 25\% \\ &= 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Namun, dengan mempertimbangkan *depth of failure* yang tersisa sebesar 0,75 meter sebelum mencapai *critical bond length*, dilakukan perhitungan kapasitas *wall displacement* berdasarkan *depth of failure*,

$$\begin{aligned} \text{Wall Displacement} &= \text{Depth of Failure} \times \text{BF} \\ &= 0,75 \text{ m} \times 5\% \\ &= 37,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

MDX bolt yang telah mencapai *cumulative displacement* 37.5 mm menunjukkan jika area tersebut membutuhkan rehabilitasi.

#### Perhitungan Spasi MDX Bolt

Perhitungan spasi MDX bolt dilakukan berdasarkan *Factor of Safety* yang dibutuhkan di area tersebut yaitu sebesar 2 dan densitas batuan yang berada di *drift conveyor* sebesar 2700 kg/m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Required Load} &= \text{DoF} \times \text{Rock Density} \\ &= 2 \text{ m} \times 2700 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 5,4 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

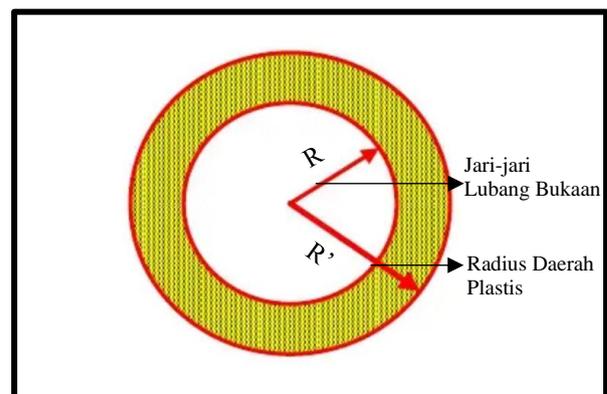
$$\begin{aligned} \text{Ground Support Load} &= \text{Required Load} \times \text{FS} \\ &= 5,4 \text{ Ton/m}^2 \times 2 \\ &= 10,8 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{\text{Listed Capacity}}{\text{Support Capacity}} \\ A &= \frac{15 \text{ Ton}}{10,8 \text{ Ton/m}^2} \\ A &= 1,38 \text{ m}^2 \\ S &= 1,17 \text{ m} \end{aligned}$$

Spasi yang digunakan dalam pemasangan MDX bolt adalah 1,17 m x 1,17 m. Spasi pemasangan MDX bolt di lapangan bisa diubah menjadi 1,1 m x 1,1 m (*rounded* kebawah) untuk memudahkan pemasangan dan sebagai *safety bumper* agar FS tercapai.

#### Perhitungan Radius Plastis Sekitar Drift

Interaksi antara tekanan penyangga dan *displacement* menghasilkan kurva karakteristik sehingga didapat titik kritis pada terowongan sesuai dengan tegangan in situ yang bekerja dan batas elastis-plastis dapat ditentukan. Area plastis yang terbentuk mempunyai jari-jari dari pusat penggalian (Kirsch, 1898 dalam Design Of Initial Shotcrete Lining) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Daerah Plastis Sekitar Terowongan

Perhitungan radius plastis sekitar terowongan dilakukan berdasarkan ketentuan yang telah diketahui. Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$\lambda = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$\lambda = \frac{1 + \sin 26,7^\circ}{1 - \sin 26,7^\circ}$$

$$\lambda = \frac{1,15}{0,84}$$

$$\lambda = 1,37$$

Kemudian, dilanjutkan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$R' = R \frac{2}{1+\lambda} \left( \frac{\sigma_o(\lambda-1) + \sigma_c}{\sigma_c} \right)^{\frac{1}{\lambda-1}}$$

$$R' = 2,75 \text{ m} \frac{2}{1+1,37} \left( \frac{37,5 \text{ MPa}(1,37-1) + 156,5 \text{ MPa}}{156,5 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{1,37-1}}$$

$$R' = 2,31 \left( \frac{37,5(0,37) + 156,5}{156,5} \right)^{\frac{1}{2,67}}$$

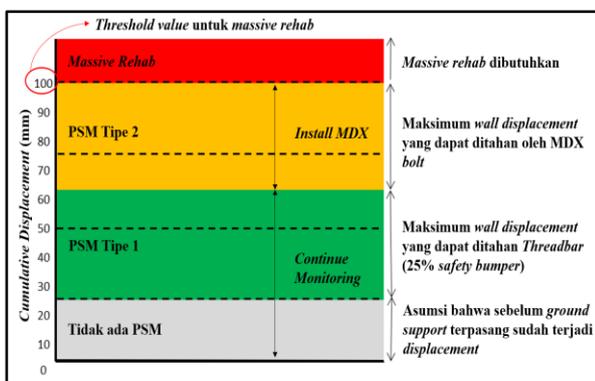
$$R' = 2,31(1,08)$$

$$R' = 2,91 \text{ m}$$

Radius plastis yang berada di sekitar drift terowongan yaitu sebesar 2,91 m.

### Klasifikasi Preventive Support Maintenance (PSM)

Perhitungan kapasitas *ground support* terhadap *displacement* yang terjadi pada area *drift conveyor* digunakan untuk membuat klasifikasi *Preventive Support Maintenance* (PSM) berdasarkan potensi *cumulative displacement* yang terjadi. Selain itu, pembuatan PSM juga memperhitungkan kapasitas *wall displacement* maksimum dan *safety bumper*.



Gambar 8. PSM

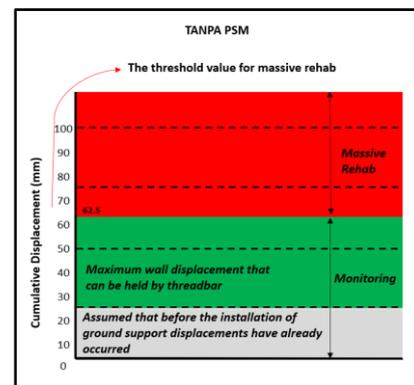
Pada Gambar 8 dapat dilihat ketika *displacement* telah mencapai *range* 25 mm hingga 62,5 mm dapat diklasifikasikan bahwa area sudah memasuki PSM tipe 1. *Displacement* yang sudah mencapai *range* 62,5 mm hingga 100 mm, area tersebut diklasifikasikan menjadi PSM tipe 2, sedangkan ketika *displacement* sudah mencapai lebih dari 100 mm area tersebut membutuhkan rehabilitasi.

Berdasarkan data konvergen dan nilai *cumulative displacement* yang telah terjadi di *drift conveyor* 510, 511, 512 dan 514 bahwa masih belum membutuhkan PSM. Metodologi implementasi PSM dengan mengenali perubahan deformasi dengan pemantauan konvergen

secara berkala, mengembangkan Triggered Action Response Plan (TARP) berbasis deformasi dan melanjutkan pengukuran *displacement* untuk pemasangan PSM support.

### Restorasi Support System Capacity (SSC) dengan menggunakan Preventive Support Maintenance (PSM)

Penggunaan PSM pada area *drift conveyor* DMLZ dapat merestorasi kapasitas *ground support* yang telah berkurang. Instalasi PSM dilakukan dengan menyesuaikan pengukuran *displacement* yang terjadi di area *drift conveyor*. Ketika *drift* mengalami *excavation* dan *base support* (primer dan sekunder) terpasang, dinding yang rusak mengalami deformasi karena adanya *mining-induced stress*, hal itu mengakibatkan kapasitas beberapa *ground support* berkurang.

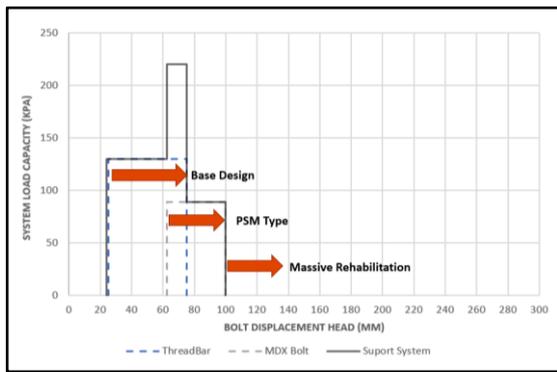


Gambar 9. Tanpa penggunaan PSM

Saat *wall displacement* sudah mencapai batas yang ditentukan pada PSM, pada kondisi ini maksimum *wall displacement* adalah 100 mm, maka tambahan *ground support* dipasang untuk menyediakan *support capacity* yang cukup dengan memperpanjang batas *wall displacement* yang dapat diterima. Tanpa penggunaan PSM maka di area *drift conveyor* hanya dapat menahan *wall displacement* sampai 62,5 mm sebelum diperlukannya rehabilitasi karena tidak ada pemasangan tambahan *ground support* setelah kapasitas dari *base support* berkurang. Setelah dibuat PSM untuk area *drift conveyor* DMLZ, *wall displacement* maksimum menjadi 100 mm sebelum diperlukannya rehabilitasi, karena pemasangan tambahan *ground support* memperpanjang kapasitas *displacement* yang dapat diterima.

### Support System Load Capacity

Kebutuhan *load capacity* sebuah *support system* bergantung pada *static load* yang dimiliki oleh masing-masing komponen *ground support*. *Support* yang dipasang dapat diasumsikan bahwa menjadi tegang secara bersamaan. Namun, dapat diaktifkan pada *displacement* awal yang berbeda. Hubungan antara *system load capacity* dengan nilai *displacement* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 10.



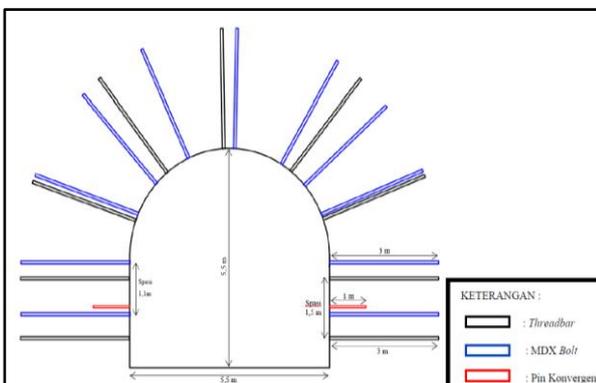
Gambar 10. Support System Load Capacity

Dengan penggunaan PSM, saat area drift conveyor mengalami displacement sampai 62,5 mm load capacity yang dimiliki oleh threadbar sebesar 130 kPa. Saat area mengalami displacement 62,5 mm hingga 80 mm, area load capacity yang tersedia mencapai maksimumnya yaitu 225 kPa. Namun, ketika displacement sudah melebihi 80 mm, load capacity turun drastis menjadi 90 kPa. Kemudian, ketika displacement sudah mencapai 100 mm, load capacity yang dimiliki oleh support system habis

**Design Ground Support**

Implementasi PSM pada area drift conveyor DMLZ, tambahan ground support yang digunakan adalah MDX Bolt dengan panjang 3 m dan spasi 1,17 m. Dari kegiatan pemasangan ground support yang telah dilakukan di DMLZ, pemasangan spasi pada umumnya dilakukan pembulatan ke bawah, dalam hal ini spasi menjadi 1,1 m untuk memudahkan pemasangan. Pembulatan spasi ke bawah dilakukan juga untuk meningkatkan faktor keamanan.

Pemilihan MDX Bolt sebagai tambahan ground support karena mempertimbangkan dimensi drift yang hanya dapat memasang ground support dengan panjang maksimum 3 m. Riwayat pemasangan ground support menunjukkan bahwa MDX Bolt cocok digunakan untuk area yang sudah terdapat fracture, sehingga dapat menahan area yang sudah mengalami deformasi.

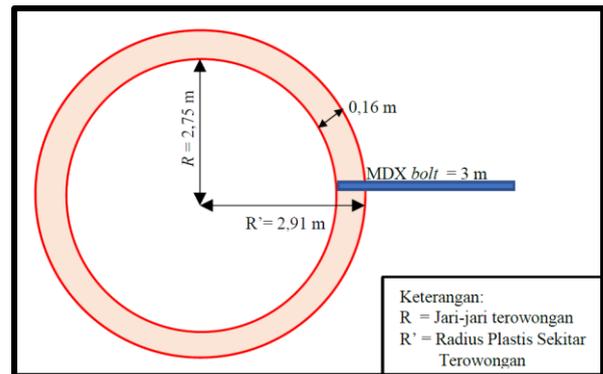


Gambar 11. Desain Penambahan Ground Support

Penambahan ground support MDX Bolt dilakukan setelah kapasitas threadbar berkurang dan area sudah mengalami displacement sebesar 37,5 mm. Setelah kapasitas MDX Bolt habis, yaitu ketika area sudah

mengalami displacement sebesar 100 mm, maka area tersebut butuh direhabilitasi.

Data nilai depth of failure sebelumnya diambil melalui borehole camera survey saat kegiatan development area DMLZ, maka perlu dilaksanakan kembali borehole camera survey untuk mengetahui nilai depth of failure saat ini untuk memastikan apabila telah terjadi perubahan dalam nilai. Hal yang sama perlu dilakukan untuk nilai bulking factor dimana sebelumnya hanya berdasarkan asumsi dari riwayat divisi geotechnical services. Pemasangan ground support juga mempertimbangkan radius plastis yang berada di sekitar terowongan, dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Radius Plastis dan Pemasangan MDX Bolt

Berdasarkan perhitungan, pemasangan MDX bolt dengan panjang 3 m sudah cukup dan sesuai untuk drift dengan radius plastis di sekitar terowongan sebesar 2,91 m.

**IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

- Berdasarkan data pengukuran displacement dari bulan Mei 2022 sampai dengan bulan April 2023, tidak terjadi displacement signifikan yang tercatat. Hasil perhitungan cumulative displacement menunjukkan bahwa area drift conveyor DMLZ masih dalam kondisi yang dapat diterima.
- Pengaruh displacement yang terjadi sepanjang area drift conveyor DMLZ sampai saat ini belum menimbulkan kerusakan yang tampak secara visual. Namun, tiap terjadi displacement kapasitas support system akan perlahan berkurang, sehingga adanya perlu kegiatan pemantauan secara berkala.
- Preventive Support Maintenance (PSM) telah dibuat berdasarkan pengukuran displacement dari bulan Mei 2022 sampai dengan bulan April 2023.
  - No PSM type, apabila cumulative displacement mencapai jangkauan 0 mm hingga 25 mm. Rencana tindakan yang perlu dilakukan adalah pemantauan menggunakan pengukuran konvergen secara rutin.
  - PSM type 1, apabila cumulative displacement mencapai jangkauan 25 mm hingga 62,5 mm. Rencana tindakan yang perlu dilakukan adalah

- pemantauan menggunakan pengukuran konvergen secara rutin.
- c. PSM *type 2*, apabila *cumulative displacement* mencapai jangkauan 62,5 mm hingga 100 mm. Rencana tindakan yang perlu dilakukan adalah pemasangan tambahan *ground support* pada area yang membutuhkan.
  - d. Rehabilitasi, apabila *cumulative displacement* mencapai lebih dari 100 mm. Rencana tindakan yang perlu dilakukan adalah melepas runtuh batuan dan *ground support* yang lepas, lalu memasang kembali *ground support* berdasarkan kondisi aktual.
4. Berdasarkan klasifikasi kelas PSM, tambahan *ground support* yang perlu dipasang untuk menambah kapasitas displacement adalah MDX bolt dengan panjang 3 m dan spasi sebesar 1,1 m.

### Saran

1. Pemantauan melalui pengukuran konvergen perlu dilaksanakan secara rutin untuk mengetahui besar *displacement* yang terjadi pada jangka waktu tertentu supaya tindakan PSM dapat dilakukan dengan cepat dan lebih akurat.
2. Melakukan *damage mapping* untuk membuat *damage classification* yang nantinya akan digunakan bersama dengan klasifikasi PSM.
3. Melakukan *borehole camera survey* untuk memastikan nilai *Depth of Failure* (DOF) pada tiap stasiun konvergen dan untuk menetapkan nilai *Bulking Factor* (BF) yang valid sesuai kondisi aktual.
4. Mengembangkan *Triggered Action Response Plan* (TARP) berbasis displacement untuk PSM.

### V. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya. Terimakasih juga kepada PT Freeport Indonesia atas pengalaman dan ilmu yang telah diberikan.

### VI. REFERENSI

Aydan, Omer. 2018. *Rock Reinforcement and Rock Support*. In ISRM Book Series. CRC Press.

Ciulli, D.M. 2022. *Practical Application of Deformation Based-Support Design*. Australian Centre for Geomechanics. Caving 2022, Australia.

Hadjigeorgiou, J., Potvin, Y. 2020. Ground Support Performance Data. In Y. Potvin, & J. Hadjigeorgiou (Eds.), *Ground Support for underground mines* (pp. 141-177). Australian Centre for Geomechanics.

Hoek, E., Kaiser, P.K dan Bawden, W.F. 1995, *Support of Underground Excavation in Hard Rock*. A.A Balkema. Rotterdam.

Kaiser, P.K. 2012. *Design of Rock Support System Under Rockburst Condition*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Canada.

Kaiser, P.K., & Moss, A., 2021. *An operational approach to ground control in deep mines*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Canada.

Kaiser, P.K., & Moss, A., 2021. *Deformation-based Support Design for Highly Stressed Ground with a Focus on Rockburst Damage Mitigation*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Canada.

Kaiser, P.K. 2017. *Lecture Series for Freeport McMoran: Support System Capacity*, Laurentian University.

Kaiser, P.K. 2017. *Lecture Series for Freeport McMoran: Support System Design*, Laurentian University.

Kaiser, P.K. 2017. *Lecture Series for Freeport McMoran: Support System Consumption*, Laurentian University.

Li, C.C., 2017. *Principles of Rockbolting Design*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.

Li, C.C., 2017. *Rockbolting Principles and Applications*. Department of Geoscience and Petroleum. Elsevier, Norway.

Naseri, Saeed. 2020. *Design Of Initial Shotcrete Lining For A Mine Shaft Using Two-dimensional Finite And Hybrid Finite-Discrete Element Methods*. Dalhousie University. Halifax, Nova Scotia.

Ruswanto. 2017. Minegrafi Batuan Penyusun Tambang Deep Mill Level Zone (DMLZ) PT Freeport Indonesia. Bulletin of Scientific Contribution, Volume 15, Nomor 2, Agustus 2017 : 173 – 180

Simanjuntak, K., 2020. *Driving and Managing Stress in the Deep Mill Level Zone Caving Mine*. MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining.

Tamames, B.C., & Bienawski, Z.T. 2020. *Ground Characterization and Structural Analysis for Tunnel Design*. CRC Press.

Tim Redaksi. <https://ptfi.co.id/id/how-we-operate> (diakses pada 14 Juli 2023 pukul 21.17 WIB)

\_\_\_\_\_, Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik