

SQUEEZING PADA MASSA BATUAN SEKITAR TEROWONGAN DI DAERAH TAMBANG CIKONENG, BANTEN

Bayurohman Pangacella PUTRA^{1,a}, Budi SULISTIANTO²,
Ganda M. SIMANGUNSONG², Nuhindro P. WIDODO²

¹Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta, Indonesia

²Institut Teknologi Bandung

^aBayurohmanpp@gmail.com

Abstrak

Kegiatan Pertambangan bawah tanah akan selalu dihadapkan pada masalah deformasi dan ketidakstabilan massa batuan di sekitar lubang bawah tanah. Sebuah deformasi besar dilaporkan terjadi pada terowongan decline Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD). Sebelum peristiwa ini terjadi, masalah yang sama pernah terjadi pada terowongan tersebut. Dinding terowongan yang rusak karena peristiwa sebelumnya itu telah diperbarui ke dalam bentuk awalnya. Hal ini menandakan bahwa zona batuan sudah mengalami deformasi yang sangat besar, termasuk mengalami squeezing, dan sistem penyanggaan yang sama tidak bisa menahan beban yang sudah meningkat. Oleh karena itu, pemantauan deformasi terowongan harus terus dilakukan. Prediksi potensi squeezing massa batuan dapat ditentukan pada daerah dimana titik-titik pemantauan menggunakan convergencmeter dipasang. Dengan memanfaatkan deformasi massa batuan dan karakteristik penyangga yang dipasang, didapatkan bahwa dinding, atap, dan area di antaranya mengalami squeezing pada titik-titik pemantauan.

Kata kunci: Terowongan, squeezing, deformasi, sistem penyanggaan

Abstract

Underground Mining activity will always face deformation and instability of the rock mass around the underground openings. A large deformation was reported to occur on decline tunnel of PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD). Prior to this event, the same problem occurred at the same tunnel, which the tunnel wall had been refurbished into the proposed original shape. This implies that the rock mass around the tunnel may be subjected to squeezing and the same support system couldn't resist the increasing load. Therefore, as observation method must still be carried out, tunnel squeezing problem can be predicted at spots where the convergencmeters are located. Using rock mass deformation and support systems that have been installed at monitoring points, it is obtained that tunnel squeezing happened at walls, roof, and the area between them.

Keywords: tunnel, squeezing, deformation, support systems

1. Pendahuluan

Aktivitas penambangan dengan sistem penambangan bawah tanah akan selalu dihadapkan pada masalah deformasi dan ketidakstabilan massa batuan disekitar bukaan bawah tanah. Demikian pula halnya pada aktivitas penambangan bawah tanah bijih Cikoneng yang akan dilakukan oleh PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD). Dalam kegiatan penambangan saat ini, PT. CSD bermaksud untuk melakukan analisis terhadap kestabilan terowongan decline sebagai akses utama penambangan bijih Cikoneng dikarenakan terjadi deformasi yang cukup besar pada titik pantau DCKN 01 – 25. Telah terpasangannya sejumlah penyangga tidak mencegah terjadinya deformasi massa batuan yang telah terjadi. Dengan melihat besar deformasi terowongan yang terjadi, potensi squeezing dapat ditentukan.

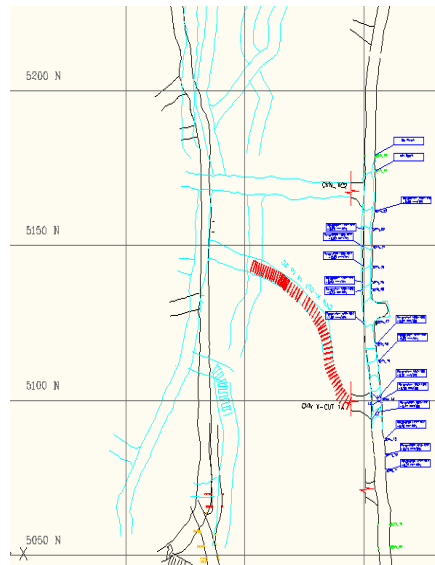
2. Metode Penelitian

Mengingat daerah pengamatan di sekitar decline Cikoneng memiliki bentuk terowongan yang bukan lingkaran, berdekatan dengan terowongan lain, dan massa batuan tidak homogen, maka penggunaan metode analitik sangat terbatas dalam kasus ini. Oleh karena itu diperlukan metode pemantauan untuk dapat menganalisis keadaan massa batuan di sekitar terowongan. Data-data yang didapatkan dari kegiatan

lapangan, dokumen PT. CSD, uji lab, literatur, dan penelitian sebelumnya yang mendukung dikolaborasikan dalam analisis numerik sehingga mendapatkan hasil yang baik mengenai deformasi dan batas zona plastis. Dengan melakukan analisis reaksi penyanggaan batuan setelahnya, maka dapat ditentukan jenis penyanggaan yang tepat agar zona plastis tidak berkembang lagi dan terowongan *decline* Cikoneng stabil



Gambar 1 Peta lokasi tambang emas Cibaliung (Sumber: dokumen PT. Cibaliung Sumberdaya)



Gambar 2 Letak garis penampang yang dianalisis

Tabel 1 RMR massa batuan di sekitar decline Cikoneng

| No | TITIK PANTAU | RMR | No | TITIK PANTAU | RMR |
|----|--------------|-----|----|--------------|-----|
| 1 | DCKN O1 | 43 | 14 | DCKN O14 | 38 |
| 2 | DCKN O2 | 30 | 15 | DCKN O15 | 30 |
| 3 | DCKN O3 | 30 | 16 | DCKN O16 | 43 |
| 4 | DCKN O4 | 43 | 17 | DCKN O17 | 35 |
| 5 | DCKN O5 | 43 | 18 | DCKN O18 | 39 |
| 6 | DCKN O6 | 45 | 19 | DCKN O19 | 38 |
| 7 | DCKN O7 | 44 | 20 | DCKN O20 | 41 |
| 8 | DCKN O8 | 50 | 21 | DCKN O21 | 45 |
| 9 | DCKN O9 | 55 | 22 | DCKN O22 | 43 |
| 10 | DCKN O10 | 46 | 23 | DCKN O23 | 43 |
| 11 | DCKN O11 | 44 | 24 | DCKN O24 | 46 |
| 12 | DCKN O12 | 41 | 25 | DCKN O25 | 37 |
| 13 | DCKN O13 | 38 | | | |

2.1. RMR Massa Batuan

Data RMR massa batuan di sekitar *decline* Cikoneng dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Sifat Fisik dan Mekanik Massa Batuan

Data sifat fisik dan mekanik massa batuan di sekitar *decline* Cikoneng dapat dilihat pada Tabel 2.

2.3. Karakteristik Penyangga

Data karakteristik penyangga yang digunakan pada terowongan *decline* Cikoneng dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Sifat fisik dan mekanik massa batuan di sekitar declie Cikoneng

| Jenis Batuan | Unit Weight | Modulus Young | Poisson Ratio | Intact Comp. Strength | mb | s | Sudut Gesek Dalam | Kohesi |
|-----------------------------------|-------------|---------------|---------------|-----------------------|---------|----------|-------------------|--------|
| | (MN/m3) | (MPa) | | (MPa) | | | (°) | |
| Ore ^[10] | 0,0231 | 10703 | 0,06 | 61,32 | 1,03 | 0,0006 | - | - |
| Polymictic Breccia ^[9] | 0,0271 | 985,6 | 0,14 | 51,07 | 0,374 | 4,54E-05 | - | - |
| Andesitic Breccia ^[6] | 0,027 | 1100 | 0,25 | 75 | 0,89185 | 8,84E-05 | - | - |
| Andesite ^[9] | 0,027 | 1257 | 0,25 | 75 | 0,554 | 0,0001 | - | - |
| Breccia Chlorite ^[10] | 0,0228 | 5392 | 0,11 | - | - | - | 28,3 | 1,142 |
| Soil ^[2] | 0,027 | 500 | 0,3 | - | - | - | 4,5 | 0,033 |

Tabel 3. Karakteristik penyangga yang digunakan pada terowongan decline cikoneng

| Jenis Penyangga | Bolt ^[3] | Shotcrete ^{[5], [3]} | Reinforcement Beam ^[12] |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Thickness (m) | - | 0,2 | - |
| Spacing (m) | 1 | - | 1 |
| Out-of-plane Spacing (m) | 1 | - | - |
| Young's Modulus (Mpa) | 200000 | 7780,3 | 200000 |
| Poisson Ratio | - | 0,25 | 0,265 |
| Compressive Strength (Mpa) | - | 28,5 | 400 |
| Tensile Strength (MPa) | - | 2,85 | 400 |
| Section Depth (m) | - | - | 0,25 |
| Area (m ²) | - | - | 0,009143 |
| Moment of Inertia (m ⁴) | - | - | 1,07e-004 |
| Length (m) | 2,4 | - | - |
| Diameter (mm) | 25 | - | - |
| Tensile Capacity (MN) | 0,1 | - | - |
| Residual Tensile Capacity (MN) | 0,05 | - | - |

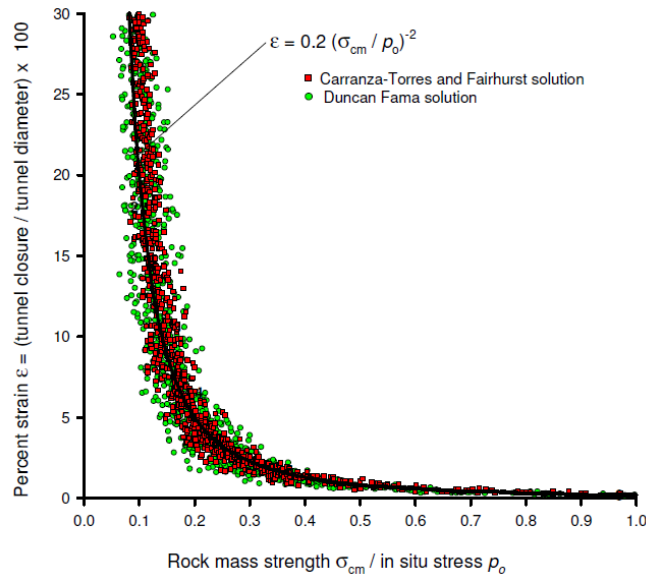
3. Hasil dan Analisis

Hoek (1999) mempublikasikan detail analisis yang menunjukkan rasio nilai UCS massa batuan σ_{cm} terhadap tegangan *in situ* p_0 yang dapat digunakan sebagai indikator potensi masalah *squeezing* massa batuan di sekitar terowongan^[11]. Mengikuti Sakurai (1983) analisis dilakukan untuk menentukan hubungan antara σ_{cm}/p_0 dengan persen *strain* terowongan. Persen *strain* didefinisikan sebagai 100 x rasio penutupan terowongan dengan diameter terowongan.

Untuk menganalisis potensi *squeezing* pada massa batuan yang disangga, maka digunakan persamaan:

$$\frac{\delta_t}{d_0} = \left(0,002 - 0,0025 \frac{p_t}{p_0} \right) \frac{\sigma_{cm}}{p_0} \left(2,4 \frac{p_t}{p_0} - 2 \right) \quad (1)$$

dimana δ_t = pergerakan terowongan
 d_0 = diameter terowongan



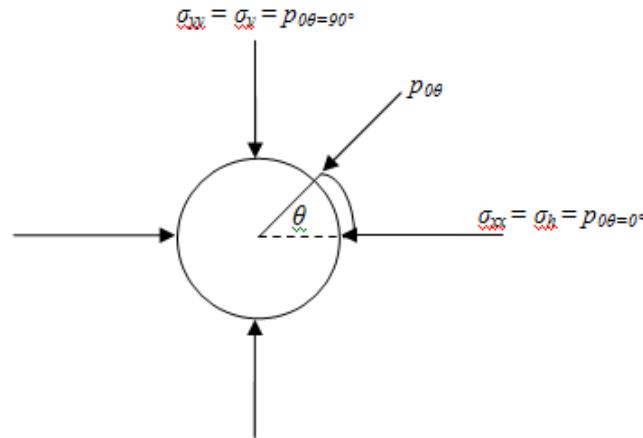
Gambar 3. Plot % strain terowongan terhadap rasio σ_{cm}/p_0 untuk terowongan yang tidak disangga

Kuat tekan uniaxial σ_{cm} dapat ditentukan dengan menggunakan nilai σ_{ci} , m_i , dan GSI, nilai σ_{cm} dapat diestimasi menggunakan persamaan 3.22.

$$\sigma_{cm} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_{ci}(1,029 + 0,025e^{(-0,1m_i)})GSI \quad (2)$$

Penggunaan persamaan ini perlu diperhatikan lagi untuk terowongan yang dikenai tegangan yang tidak bersifat hidrostatik. Nilai tegangan p_0 pada masalah ini perlu ditentukan untuk masing-masing titik pada batas terowongan (Gambar 4). Pada bagian dinding ($\theta = 0^\circ$), tegangan p_0 merupakan nilai tegangan horizontal σ_h pada titik tersebut, sedangkan pada bagian atap tengah ($\theta = 90^\circ$), p_0 merupakan tegangan vertikal σ_v pada titik tersebut. Untuk mengetahui besar p_0 yang bekerja pada titik lain, maka diperlukan penguraian tegangan menggunakan matriks transformasi koordinat

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx'} \\ \sigma_{yy'} \\ \sigma_{x'y'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2(\theta) & \sin^2(\theta) & \sin 2(\theta) \\ \sin^2(\theta) & \cos^2(\theta) & -\sin 2(\theta) \\ -1/2\sin 2(\theta) & 1/2\sin 2(\theta) & \cos^2(\theta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3)$$



Gambar 4 Tegangan p_0 yang digunakan untuk perkiraan squeezing massa batuan

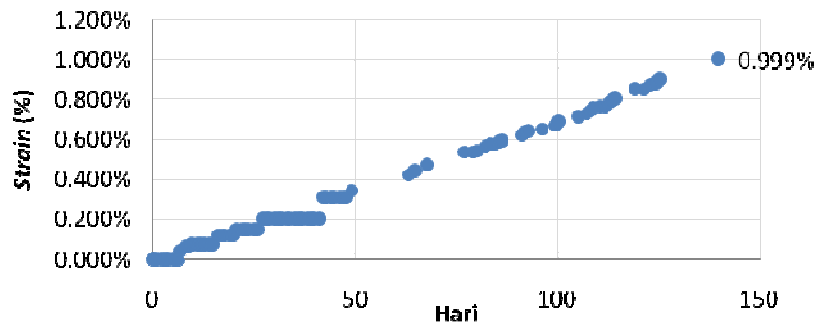
Arah σ_{yy} searah dengan sumbu vertikal ($\sigma_{yy} = \sigma_v$) dan arah σ_{xx} searah dengan sumbu horizontal ($\sigma_{xx} = \sigma_h$). σ_{xy} merupakan tegangan geser pada bidang tempat σ_{xx} dan σ_{yy} bekerja yang bisa juga ditulis τ_{xy} atau τ_{hy} . Jika $p_{0\theta}$ merupakan nilai p_0 pada arah θ dari garis horizontal, maka tegangan $p_{0\theta}$ adalah

$$p_{0\theta} = \cos^2(\theta)\sigma_h + \sin^2(\theta)\sigma_v + \sin 2(\theta)\tau_{hv} \quad (4)$$

Perhitungan prediksi *squeezing* pada massa batuan di sekitar terowongan *decline* Cikoneng seperti yang dilakukan Hoek dan Marinos^{[1],[4]} dapat dilihat pada Gambar 5. Dengan membandingkan hasil ini dengan hasil pemantauan pada Gambar 6, dapat dikatakan bahwa massa batuan pada terowongan *decline* mengalami *squeezing*.

| | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Depth</i> | 80 m | <i>D</i> | 5,39 m |
| <i>Unit weight</i> | 0,0271 MN/m ³ | <i>s</i> | 1 m |
| <i>mi</i> | 19 | | |
| <i>sigci</i> | 51,36 MPa | rockbolt Konstanta | 0,354 ^{[4],[6]} |
| GSI | 34 | <i>pi</i> | 0,354 Mpa |
| <i>sigcm</i> | 4,92 MPa | shotcrete konstanta | 10,6 ^{[4],[6]} |
| <i>k</i> | 1,2 | <i>pi</i> | 2,069 MPa |
| <i>sigv</i> | 2,17 MPa | | |
| <i>sig</i> | 2,6 MPa | total <i>pi</i> | 2,423 MPa |
| <i>sig 45 °</i> | 2,38 MPa | | |
| | | | |
| | atap | 0,001387 | 0,139% |
| | dinding | 0,000381 | 0,038% |
| | 45° dari | | |
| | dinding | 0,00741 | 0,041% |

Gambar 5 Spread Sheet perhitungan kriteria % strain pada terowongan Cikoneng untuk mengalami *squeezing*



Gambar 6 Persentasi regangan (% strain) pada titik pemantauan DCKN 14 menggunakan *convergencemeter*

4. Kesimpulan

Dengan mempertimbangkan deformasi massa batuan yang telah terjadi dan jenis penyangga yang telah dipasang, dan dengan menggunakan analisis yang sama seperti yang pernah dilakukan oleh Hoek-Marinos, massa batuan di sekitar *decline* Cikoneng mengalami *squeezing* pada daerah atap, dinding, maupun daerah diantara keduanya.

Potensi *squeezing* ini perlu diperhatikan dalam pemantauan kestabilan terowongan karena diindikasikan dengan % *strain* yang tinggi di sekeliling terowongan. Hal ini menandakan bahwa sistem penyanggaan yang telah dipasang sudah tidak efektif menahan beban yang terus bertambah. Penambahan sistem penyanggaan yang baru dapat mencegah deformasi dan pengembangan zona plastik pada massa batuan di sekitar terowongan.

Daftar Pustaka

- [1] Hoek, E. & Marinos, P. *Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogenous rock*. Tunnels and Tunneling International. 2000.
- [2] Widodo, N.P., *Evaluation of Rock Mass Condition at Cikoneng Bypass Ch 36.5 – 39 m*. PT LAPI ITB. 2008
- [3] Perman, F., Sjoberg, J. *Numerical Analysis of Shotcrete Reinforcement*. 2007
- [4] Hoek, E., *Tunnel Support in Weak Rock*. Symposium of Sedimentary Rock Engineering. Taipei, Taiwan. 1998
- [5] Putra, B.P. *Plastic Zone Prediction Using Finite Element Method on Cikoneng Decline Tunnel at PT. Cibaliung Sumberdaya*. Asian Rock Mechanics Symposium. Bali, Indonesia. 2016.
- [6] Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. *Support of Underground Excavation in hard Rock*.
- [7] Brady, B.H.G dan Brown, E.T., *Rock Mechanics for Underground Minings*. George Allen & Unwin, London, halaman 151-164, 464, (1985).
- [8] Putra, B.P., *Prediksi Zona Plastik Menggunakan Metode Finite Element pada Terowongan Decline Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya*. Tesis Magister Program Studi Rekayasa Pertambangan Bidang Khusus Geomekanika ITB. 2015
- [9] Hakim, R. N., *Studi Kestabilan Stope Menggunakan Data Monitoring dengan Total Station*. Tesis Magister Program Studi Rekayasa Pertambangan Bidang Khusus Geomekanika ITB. 2014
- [10] Winarno, P.P.A., *Studi Monitoring Deformasi Lubang Bukaannya Menggunakan Total Station X-Cut 4 Access dan Decline Cikoneng Tambang Emas PT Cinaliung Sumberdaya*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan ITB. 2015
- [11] Sipayung, H. *Prediction of Tectonic Stress Based on Fault Slip at PT Cibaliung Sumberdaya*. International Symposium of Earth Science and Technology . 2014
- [12] SNI 03-1729-2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Bangunan Gedung.