

STUDI KESTABILAN TEROWONGAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK BERDASARKAN DATA PEMANTAUAN DI LOKASI TAMBANG EMAS BAWAH TANAH

Micky Kολου^{a*}, Marcia V. Rikumahu^b, Resti Limehuwey^c

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec. Tlk. Ambon, Kota Ambon, Maluku

²Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec. Tlk. Ambon, Kota Ambon, Maluku

³Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Kec. Tlk. Ambon, Kota Ambon, Maluku

*Email: micky.kolu@fatek.unpatti.ac.id (corresponding author)

ABSTRAK

Pemantauan perpindahan yang terjadi pada kegiatan penggalian dilakukan secara berkala atau periodik waktu tertentu agar memperoleh data dengan riwayat yang baik, dan dapat memberikan informasi yang dapat digunakan untuk memvalidasi keberlanjutan kegiatan penggalian. Pemantauan perpindahan dilakukan untuk mengetahui informasi tentang besar, arah dan kecepatan perpindahan sehingga dapat memprediksi suatu lubang bukaan berada dalam kondisi aman atau tidak aman. Nilai-nilai besar dan arah perpindahan serta kecepatan perpindahan dari hasil monitoring nantinya dapat dijadikan referensi untuk pembukaan *stope* selanjutnya. Monitoring yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat *total station reflektorless* pada *stope* yang aktif. Pengukuran deformasi menggunakan *total station reflektorless* merupakan salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk memudahkan kegiatan *monitoring* terowongan tambang bawah tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati besar, arah dan kecepatan perpindahan pada area *sill drift* aktif. Hasil perpindahan yang diperoleh dari pengukuran kemudian di bandingkan dengan hasil yang diperoleh dari Permodelan numerik menggunakan metode elemen hingga. Rasio tegangan *In Situ* (K) yang digunakan dalam model adalah $K = 1,2$. Hasil analisis kecepatan perpindahan yang terjadi pada setiap titik pengamatan memiliki nilai kecepatan perpindahan < 1 mm/hari. Berdasarkan kriteria yang diberikan oleh Zhenxiang dan PTFI, nilai kecepatan perpindahan yang terjadi dikategorikan berada dalam kondisi stabil dan relatif stabil.

Kata kunci : Monitoring, Perpindahan, metode elemen hingga, *stope*

ABSTRAK

Monitoring of movements that occur during excavation activities is carried out periodically or periodically in order to obtain data with a good history, and can provide information that can be used to validate the continuation of excavation activities. Movement monitoring is carried out to find out information about the size, direction and speed of displacement so that it can predict whether an opening is in a safe or unsafe condition. The magnitude values and the direction of movement as well as the speed of movement from the monitoring results can later be used as a reference for opening the next stop. Monitoring was carried out in this study using a reflectorless total station at an active stop. Deformation measurement using a reflectorless total station is one of the methods being developed to facilitate monitoring of underground mine tunnels. This study aims to observe the magnitude, direction and velocity of displacement in the active sill drift area. The displacement results obtained from the measurements are then compared with the results obtained from numerical modeling using the finite element method. The In Situ stress ratio (K) used in the model is $K = 1.2$. The results of the analysis of the displacement velocity that occurs at each observation point have a displacement velocity value of

<1 mm/day. Based on the criteria provided by Zhenxiang and PTFI, the displacement velocity values that occur are categorized as stable and relatively stable.

Keywords : Monitoring, Displacement, finite element method, stope

PENDAHULUAN

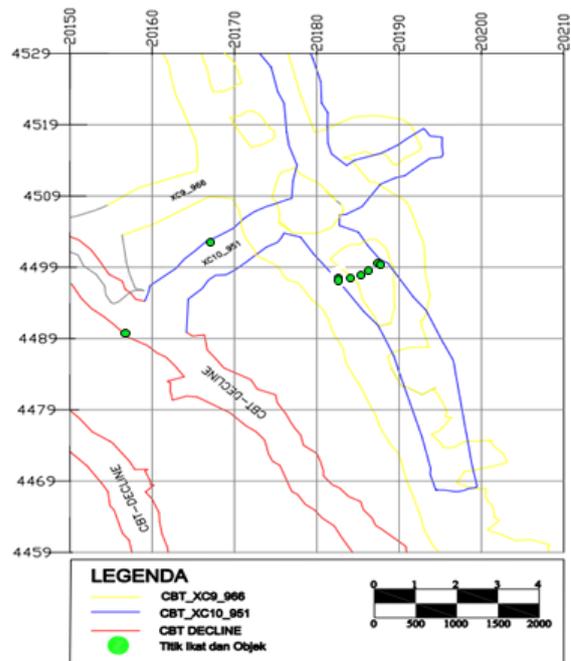
Proses penambangan menggunakan metode penambangan cut and fill harus dilakukan dengan cermat karena jika suatu level yang sedang di tambang mengalami keruntuhan maka dapat menyebabkan level di atasnya akan mengalami keruntuhan untuk itu perlu dilakukan monitoring perpindahan. Pengukuran dan pemantuan perpindahan dilakukan untuk mengamati perilaku batuan dalam rangka memprediksi permasalahan pada stabilitas lubang bukaan. Pemantauan perpindahan yang terjadi pada kegiatan penggalian dilakukan secara berkala atau periodik waktu tertentu agar memperoleh data dengan riwayat yang baik, dan dapat memberikan informasi yang dapat digunakan untuk memvalidasi keberlanjutan kegiatan penggalian. Guenot (1985) mengemukakan bahwa perpindahan dapat terjadi selama beberapa minggu atau bulan setelah penggalian lubang bukaan dihentikan. Dinding dan atap lubang bukaan akan berhenti mengalami perpindahan jika telah mencapai kesetimbangan tegangan baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati besar, arah dan kecepatan perpindahan pada area *sill drift* aktif. Dinding dan atap *sill drift* yang diamati telah diperkuat dengan kombinasi split set, *weld mesh* dan *shotcrete*. Perpindahan relatif atau konvergen yang terjadi pada lubang bukaan bawah tanah disebabkan oleh dua hal (Panet dan Simecsol, 1993), yaitu :

Pengaruh dari kemajuan pemuka kerja dan Pengaruh waktu pada massa batuan pada lubang bukaan bawah tanah.

menggunakan alat *total station* tanpa reflector (*reflectorless total station*). Sedangkan Metode yang sering digunakan untuk memantau perpindahan adalah menggunakan konvergen meter. Metode ini memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi namun memerlukan waktu pengambilan data yang lebih lama dan akan mengalami kesulitan apabila diterapkan di lombong yang aktif.

LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di XC 10 south Blok Cibitung level 951, dengan arah N 155°E. Kedalaman lokasi penelitian yaitu sekitar 228m dari permukaan tanah. Lokasi penelitian dapat dilihat pada (Gambar 1).





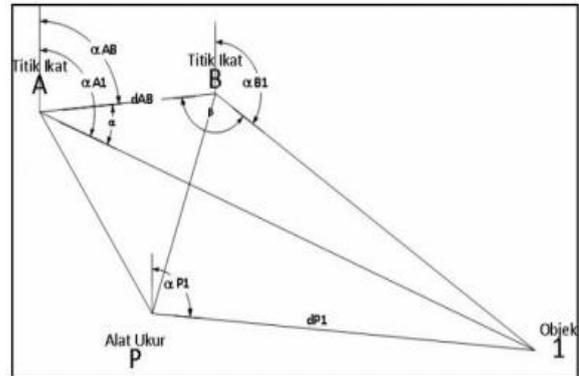
Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan titik pengukuran

PENGAMATAN LAPANGAN

Adapun langkah - langkah yang harus dilakukan untuk melakukan proses pengambilan data pemantauan perpindahan pada terowongan yaitu :

1. menentukan lokasi yang sesuai untuk melakukan penelitian. Kemudian melakukan *review* terhadap penelitian sebelumnya termasuk data-data terkait yang telah ada dilokasi penelitian serta diskusi tentang penelitian yang akan dilaksanakan.
2. menentukan titik pemasangan pin objek pengukuran pada sill drift.
3. mempersiapkan *instrument* atau alat bantu titik pengamatan yang akan diukur setiap kurun waktu tertentu. Alat bantu akan dipasang pada titik acuan (fix point) dan titik pemantauan (monitoring point) menggunakan pin yang dibuat dari besi batang dan plat yang diberi stiker reflektor untuk memperjelas titik yang akan diamati.
4. melakukan pemantauan perpindahan metode *surveying*. Perpindahan yang terjadi dihitung dari perbedaan koordinat dan elevasi setiap data yang didapat pada saat pengukuran. Sedangkan arah perpindahan dapat di hitung menggunakan cara trigonometri.

Berikut pengukuran menggunakan metode *tachimetri* dengan langkah - langkah sebagai berikut (lihat Gambar 2.):



Gambar 2. Sketsa cara pengukuran

- a. Sentring alat ukur pada tempat di titik P
- b. Input koordinat Fix titik A dan B
- c. Koreksi koordinat Fix A dan B dengan membidik titik tersebut
- d. Bidik titik Objek 1 dan seterusnya untuk mendapat koordinat objek
- e. Lakukan kembali langkah a) setiap memulai pengukuran pada waktu yang ditentukan dan hasil koordinat titik objek dapat dilihat pada alat total station.

Data koordinat (xyz) hasil pengukuran langsung diperoleh dari alat total station yang digunakan, kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh besar perpindahan dan arah perpindahan pada titik objek yang diamati. Perpindahan pada sumbu X adalah selisih dari data koordinat pada sumbu X akhir dengan data koordinat sumbu X awal, begitu pula menghitung perpindahan pada sumbu Z. Sumbu Y searah dengan arah penggalian terowongan.

$$\Delta X = X_n - X_1$$

$$\Delta Z = Z_n - Z_1$$

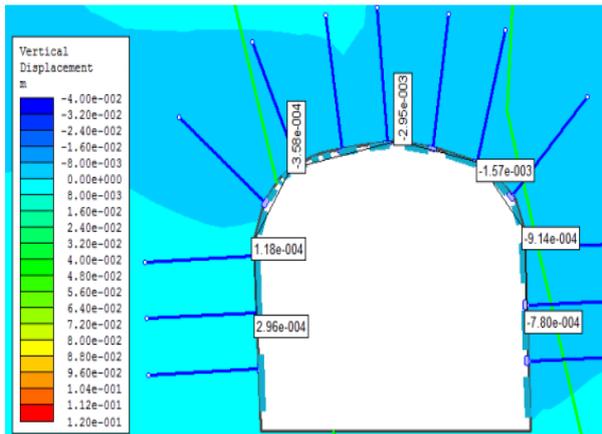
Keterangan:

X_n = Perpindahan horizontal ke-n

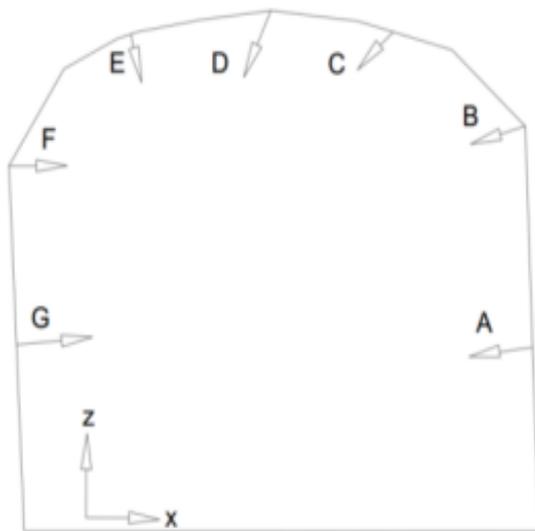
X_1 = Perpindahan horizontal awal

Z_n = Perpindahan vertikal ke-n

Gambar 3a Perpindahan horizontal pada setiap titik pengamatan



Gambar 3b Perpindahan vertikal pada setiap titik pengamatan



Gambar 4. Perpindahan yang terjadi pada hari terakhir pengukuran

Tabel 5. Perpindahan pengukuran dan model numerik disetiap titik pengamatan

Nomor Titik	Perpindahan (m)			
	Hasil Pengukuran		Model Numerik	
	X	Z	X	Z
A	-	-	-	-
	0.004	0.001	0.00	0.00
	1	6	44	08

B	-	-	-	-
	0.002	0.002	0.00	0.00
	5	0	42	09
C	-	-	-	-
	0.003	0.002	0.00	0.00
	1	4	33	16
D	-	-	-	-
	0.001	0.003	0.00	0.00
	0	3	15	29
E	0.002	-	0.00	-
	3	0.001	21	0.00
		1		04
F	0.003	0.000	0.00	0.00
	5	6	29	01
G	0.005	0.000	0.00	0.00
	0	2	31	03

1.3. Kecepatan Perpindahan

Kecepatan perpindahan merupakan salah satu parameter untuk menilai kestabilan lubang bukaan bawah tanah. Kriteria yang diberikan oleh Cording (1974) memperlihatkan laju perpindahan yang sangat kecil yang telah diterapkan pada terowongan sipil. Untuk itu pada penelitian ini kriteria menurut Cording tidak digunakan. Kriteria yang diberikan oleh Zhenxiang merupakan kriteria yang diterapkan oleh PT CSD sehingga kriteria ini dapat digunakan dalam penelitian ini. Kriteria yang diberikan oleh PTFI merupakan kriteria yang diterapkan pada batuan keras sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini. Tabel 4.3 memperlihatkan kecepatan perpindahan yang terjadi di setiap titik pengamatan.

Berdasarkan kriteria yang diberikan oleh Zhenxiang (1984) lombong memiliki nilai yang relatif stabil dan pada titik pemantauan (titik B) berada pada kondisi stabil. Dan menurut kriteria yang diberikan oleh PTFI, lombong dikategorikan *negligible*. Hal ini dikarenakan adanya pemasangan penyangga setelah aktifitas penggalian di lokasi pengukuran yang dapat menurunkan perpindahan horizontal dan vertikal sehingga lubang bukaan

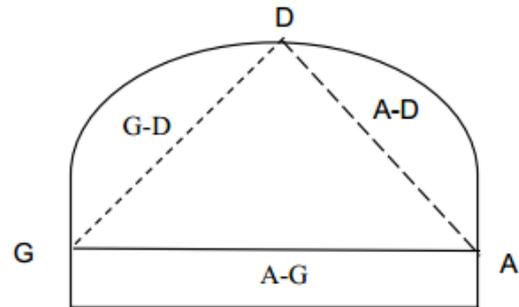
berada pada kondisi yang relatif stabil. Penggunaan penyangga yang saat ini diterapkan yaitu kombinasi antara *weldmesh*, *splitset* dengan panjang 2,4 m, berdiameter 46 mm, dan spasi antar *splitset* 1 m serta *shotcrete* memperlihatkan kondisi lubang bukaan dalam keadaan yang stabil berdasarkan kriteria yang diberikan oleh PTFI dan dalam keadaan yang relatif stabil berdasarkan kriteria yang diberikan oleh Zhenxiang (1984).

Tabel 6. Kecepatan perpindahan rata-rata disetiap titik pengamatan

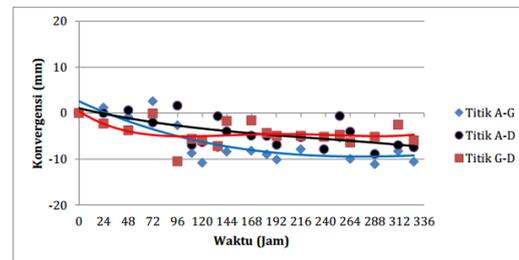
Pos isi Titik	Rata-rata Kecepatan Perpindahan (mm/hari)	Kriteria Kecepatan Perpindahan (mm/hari)	
		Zhenxiang (1984)	PTFI
A	0.687	Relatif Stabil	Negligible
B	0.1986	Stabil	Negligible
C	0.4015	Relatif Stabil	Negligible
D	0.6866	Relatif Stabil	Negligible
E	0.5517	Relatif Stabil	Negligible
F	0.4357	Relatif Stabil	Negligible
G	0.5301	Relatif Stabil	Negligible

Pengukuran perpindahan menggunakan alat *total station* sangat baik diterapkan pada lombong yang aktif dikarenakan tidak mengganggu aktifitas produksi. Akan tetapi akurasi alat diatas ≥ 1 mm menyebabkan perlu dilakukannya validasi dengan menggunakan alat dengan akurasi yang lebih detail. metode konvergen meter

memiliki akurasi alat yang sangat kecil yaitu 0.01 mm sehingga sangat baik digunakan untuk memvalidasi pengukuran menggunakan alat *total station*. Data yang diperoleh dari alat *total station* juga dapat dihitung menggunakan pendekatan konvergensi. Gambar 4.3 memperlihatkan pengukuran menggunakan metode konvergen sedangkan gambar 4.4 memperlihatkan grafik konvergensi pada dinding dan atap terowongan.



Gambar 5. Pengukuran menggunakan metode konvergen



Gambar 6. Grafik konvergensi pada dinding dan atap terowongan

Gambar 4.4 merupakan grafik pergerakan dengan pendekatan metode konvergen yang mengasumsikan titik A dan titik G sebagai titik acuan untuk menghitung besar perpindahan relatif terhadap titik – titik yang lain. Titik A-G memiliki perpindahan terkecil = -0.804 mm pada waktu ke 48.00 jam dan perpindahan terbesar -11.117 mm pada waktu ke 287.98 jam. Sedangkan pada titik A-D memiliki perpindahan terkecil -0.041 mm pada waktu ke 23.87 jam dan memiliki perpindahan terbesar -8.906 mm pada waktu ke 287.98 jam dan titik G-D memiliki perpindahan terkecil = -0.052 mm pada waktu ke 71.92 jam dan memiliki perpindahan terbesar = -10.502 mm pada waktu ke 95.82 jam.

Tabel 7. Perpindahan hasil pemantauan dengan hasil pemodelan numerik

Perpindahan (m)						
No m or Titik	Hasil Pengukuran		Model Numerik, K = 1,2			
	X	Z	X	error X	Z	error Z
A	-	-	-	0,00	-	0,00
	0,0	0,0	0,0	0000	0,0	0000
	04	01	04	06	00	67
	1	6	4		8	
B	-	-	-	0,00	-	0,00
	0,0	0,0	0,0	0002	0,0	0001
	02	02	04	83	00	18
	5		2		9	
C	-	-	-	0,00	-	0,00
	0,0	0,0	0,0	0000	0,0	0000
	03	02	03	02	01	69
	1	4	3		6	
D	-	-	-	0,00	-	0,00
	0,0	0,0	0,0	0000	0,0	0000
	01	03	01	22	02	12
	0	3	5		9	
E	0,0	-	0,0	0,00	-	0,00
	02	0,0	02	0000	0,0	0000
	3	01	1	04	00	55
		1			4	
F	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
	03	00	02	0000	00	0000
	5	6	9	33	1	23
G	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
	05	00	03	0003	00	0000
	0	2	1	43	3	01
Standar Deviasi				0,00		0,00
				0996		0703

PENUTUP

Hasil pengukuran yang diperoleh memperlihatkan kondisi lubang bukaan yang stabil yang disebabkan oleh sistem penyanggaan baik yang dapat mengurangi perpindahan yang bekerja di perimeter lubang bukaan. Dengan penggunaan *splitset* berdiameter 46 mm, panjang *splitset* 2,4 m, spasi *splitset* 1 m serta penggunaan *weldmesh* dan *shotcrete*, berdasarkan kriteria yang diberikan oleh PTFI dan Zhenxiang (1984) merupakan penyangga yang baik diterapkan dikarenakan dapat menghasilkan penurunan perpindahan horizontal dan

vertikal pada setiap titik pengukuran, dan memberikan kondisi yang stabil pada lubang bukaan. Untuk itu sistem penyangga ini dapat dipakai untuk penggalian rencana selanjutnya.

Rasio tegangan horizontal dan tegangan vertikal $K = 1,2$ memberikan nilai perpindahan yang mendekati perpindahan pengukuran dengan error perpindahan (E_{rr}) untuk spasi *splitset* 1 m, $E_{rrX} = 0,000996$ dan $E_{rrZ} = 0,000703$.

REFERENSI

Cording J. Edward, Mahar W. James, dan Brierley S. Gray., *Observations for Shallow Chamber in Rock*. Proceedings of The International Symposium Field Measurements in Rock Mechanics. Volume II. Zurich, 4-6 April 1977. AA. Balkema, Rotterdam, halaman 485-508 (1979).

Hakim, Romla Noor.2014.*Studi Kestabilan Stope Menggunakan Data Monitoring dengan Total Station*.Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Hoek, E dan Brown, E.T, Practical estimates of rock mass strength, Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), pp. 1165-1186 (1997).

Hoek, E., Kaiser, P.K. dan Bawden, W. *F.Support of Underground Excavation in Hard Rock*. Funding by Mining Research Directorate and Universities Research Incentive Fund.

Putra, Bayurohman P.2015.*Prediksi Zona Plastik Menggunakan Metode Finite Element pada Terowongan Decline Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya*.Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Rai, M.A., Kramadibrata, S., dan Watimena, R.K. 2011. *Mekanika Batuan*. Bandung:Institut Teknologi Bandung.

Zhenxiang, X. A., *Tunnel Design Method Using Field Measurement Data*. Proceeedings of ISRM Symposium Design and Performance of Underground Excavation. Cambridge UK, 3-6 September, 1984. British Geotechnical Society, London. Halaman 221-229.