

MONITORING DEFORMASI DINDING DAN ATAP TEROWONGAN TAMBANG EMAS BAWAH TANAH MENGUNAKAN TOTAL STATION REFLEKTORLESS

Romla Noor Hakim

Laboratorium Teknologi Pertambangan, Universitas Lambung Mangkurat
romla@unlam.ac.id

ABSTRACT

Deformation measurements using the reflectorless total station is one method that is being developed to ease monitoring activities of the underground mine tunnel that have large enough dimensions, difficult to reach by other monitoring equipment and mining activities can hinder collecting monitoring data.

This study observe the value, direction and rate of deformation on the walls and roof of active silldrift which is considered to have a huge loading due to the influence of silldrift above at the level, that have partly was backfill with concrete reinforcement on the floor and some still hollow. The observation sill drift have supporting system by a combination of friction bolt, weld mesh and shotcrete.

Deformation measurements method uses the basic principle for determining the coordinates of a point with two point belt. The amount of deformation can be calculated from the difference in the coordinates of each of observational data at the time of measurements, the direction of deformation calculated using trigonometry method, and taking into account the duration of the measurement interval then the rate of deformation can be predicted. The results of the analysis of the resultant cumulative deformation that occurs very large with an average of 218 mm with the resultant trend revolves around the direction $Y105^{\circ} - 288^{\circ}X$ and plunge ranges between $36^{\circ} - 79^{\circ}$. The average rate of deformation 20mm/day.

Keywords: *deformation, monitoring, reflektorless*

ABSTRAK

Pengukuran deformasi menggunakan *total station reflektorless* merupakan salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk memudahkan kegiatan *monitoring* terowongan tambang bawah tanah dengan dimensi cukup besar yang sulit dijangkau oleh peralatan *monitoring* lainnya dan berbagai aktivitas penambangan yang sedang berlangsung dapat menghambat proses pengambilan data *monitoring*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati besar, arah dan laju deformasi pada dinding dan atap *sill drift* aktif yang dianggap memiliki pembebanan besar akibat pengaruh *sill drift* di *level* atasnya yang sebagian sudah di *backfill* dengan perkuatan *concrete* pada lantainya dan sebagian masih berongga. *Sill drift* tempat titik pengamatan telah diperkuat dengan penyangga kombinasi antara *friction bolt*, *weldmesh* dan *shotcrete*.

Metode pengukuran deformasi menggunakan prinsip dasar untuk menentukan koordinat suatu titik dengan dua titik ikat. Besarnya deformasi yang terjadi dapat dihitung dari perbedaan koordinat setiap data pengamatan pada saat pengukuran, arah deformasi dapat di hitung menggunakan cara trigonometri, dan dengan memperhitungkan interval durasi pengukuran maka laju deformasi dapat diprediksi.

Hasil analisis resultan deformasi kumulatif yang terjadi sangat besar dengan rata-rata 218 mm dengan *trend* resultan berkisar pada arah $Y105^{\circ} - 288^{\circ}X$. Dan *plunge* berkisar antara $36^{\circ} - 79^{\circ}$. Laju deformasi rata-rata 20mm/hari.

Kata kunci : deformasi, monitoring, reflektorless

PENDAHULUAN

Aktifitas penambangan bawah tanah akan menyebabkan perubahan tegangan pada batuan disekitar lubang bukaan sehingga dapat menyebabkan pergerakan atau perpindahan pada batuan di perimeter lubang bukaan. Penggalian lubang bukaan pada massa batuan dapat mengakibatkan perubahan tegangan insitu lokal di sekeliling lubang bukaan tersebut (Hoek, 1982). Perpindahan ini dapat berpotensi menyebabkan ketidakstabilan di dinding terowongan yang berupa pengkerutan, jatuhnya batu atau runtuhnya dari atap/dinding terowongan tersebut. Perpindahan dapat terjadi hanya dalam beberapa minggu atau bulan setelah penggalian berhenti dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan tegangan (Guenot, 1985)

Objek penelitian ini adalah mengamati perpindahan pada area *sill drift* aktif yang dipilih karena dianggap memiliki pembebanan besar akibat dari *sill drift* di level atasnya yang sebagian sudah di *filling* dengan perkuatan dilantainya berupa *concrete* dan sebagian masih berongga. Dinding dan atap *sill drift* yang diamati ini telah diperkuat dengan kombinasi *friction bolt* (split set), *weld mesh* dan *shotcrete*.

Metode yang sering digunakan untuk memantau perpindahan adalah menggunakan konvergen meter, namun seiring dengan perkembangan dalam tingkat akurasi teknologi *surveying*, maka pemantauan deformasi lubang bukaan kali ini dilakukan dengan metode *survey* yang menggunakan alat *total station* tanpa reflector (reflectorless total station). Metode meter memang memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi namun metode ini memerlukan waktu pengambilan data yang lebih lama dan akan mengalami kesulitan jika diterapkan di *stope* aktif dengan dimensi lubang bukaan yang besar.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan tahapan metodologi penelitian seperti yang diuraikan dibawah ini.

a) Studi literatur

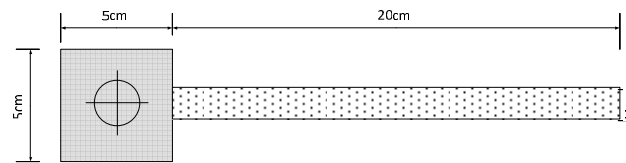
Mencari bahan-bahan yang berhubungan dengan pengukuran dan pemantauan deformasi atau perpindahan pada dinding terowongan dari buku teks, publikasi ilmiah dan laporan-laporan terdahulu

b) Observasi di lapangan

Tahap pertama adalah menentukan lokasi yang sesuai dan memungkinkan 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.

Tahap kedua adalah mendata penyangga yang telah dipasang pada *stope* tersebut dan menentukan titik pengukuran konvergen dan memasang pin objek pengukuran pada *sill drift*.

Tahap ketiga 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. Gambar 1 menampilkan pin konvergen untuk titik ikat dan titik objek pengukuran.



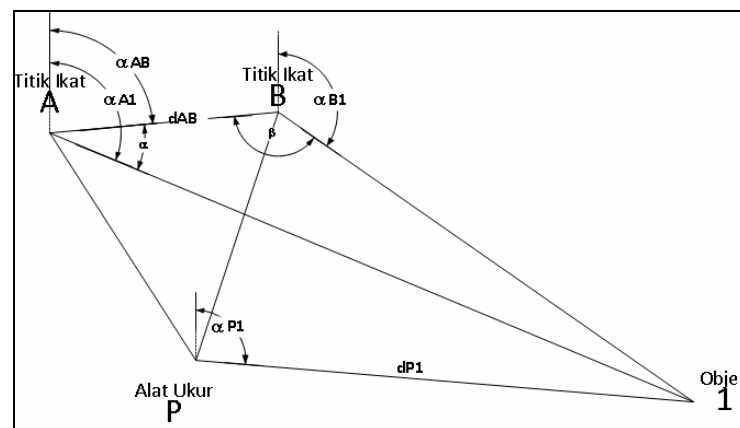
Gambar 1 Pin Konvergen

Tahap keempat 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.

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

- 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.

f)



Gambar 2 Sketsa cara pengukuran

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 awal dengan data koordinat sumbu X akhir, begitu pula menghitung perpindahan pada sumbu Y dan sumbu Z.

$$\Delta X = X_n - X_1$$

$$\Delta Y = Y_n - Y_1$$

$$\Delta Z = Z_n - Z_1$$

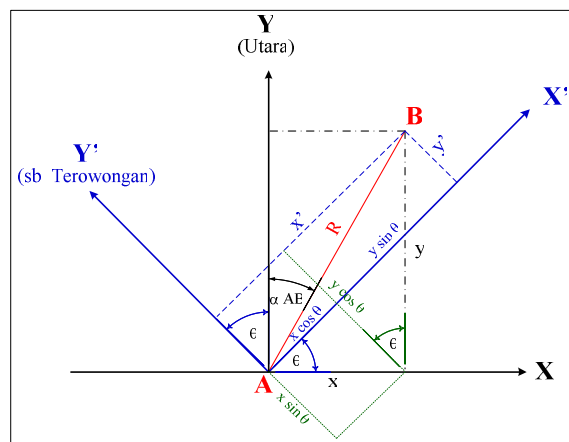
Resultan perpindahan pada ketiga sumbu XYZ dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

c) Analisis dan Permodelan

Analisis yang dilakukan adalah menghitung besar, arah dan kecepatan perpindahan yang terjadi dari data hasil monitoring. Permodelan dibuat untuk memahami kondisi deformasi yang terjadi pada perimeter lubang bukaan. Perlu diperhatikan bahwa arah utara terowongan yang tidak sama dengan arah utara sebenarnya hendaknya dilakukan transformasi dengan merotasi sumbu koordinat agar memudahkan dalam penentuan besar dan arah perpindahan pada penampang melintang terowongan. Gambar 3 menjelaskan cara transformasi sumbu koordinat yang dijabarkan menjadi persamaan berikut :

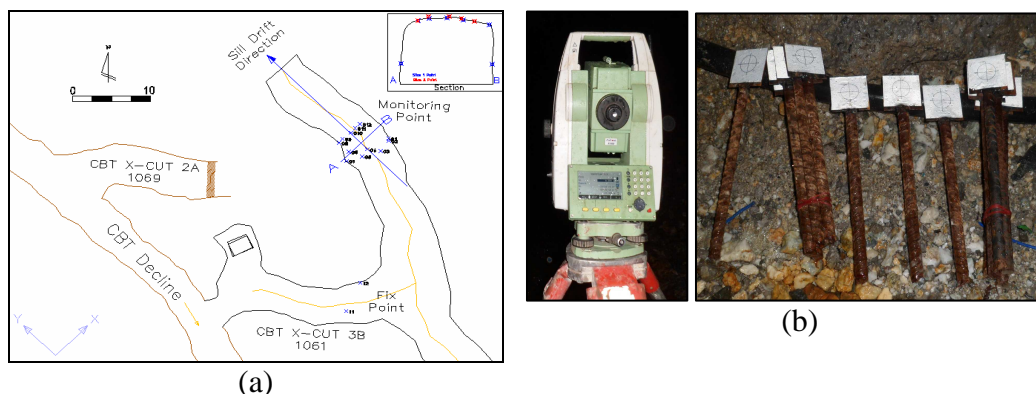
$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \cos \theta + Y \sin \theta \\ Y \cos \theta - X \sin \theta \end{bmatrix}$$



Gambar 3. Rotasi sumbu koordinat

LOKASI DAN PERALATAN PENGUKURAN

Pengukuran perpindahan dilakukan pada sill drift utara cross-cut 3B blok Cibitung. Titik ikat (fix point) untuk monitoring diletakan pada dinding *footwall* yang diasumsikan stabil dan tidak mengalami perpindahan. Sedangkan titik pengamatan diletakan pada dinding dan atap dari *sill drift* (Gambar 4).



Gambar 4. (a) Posisi titik pengukuran di sill drift (b) Peralatan monitoring

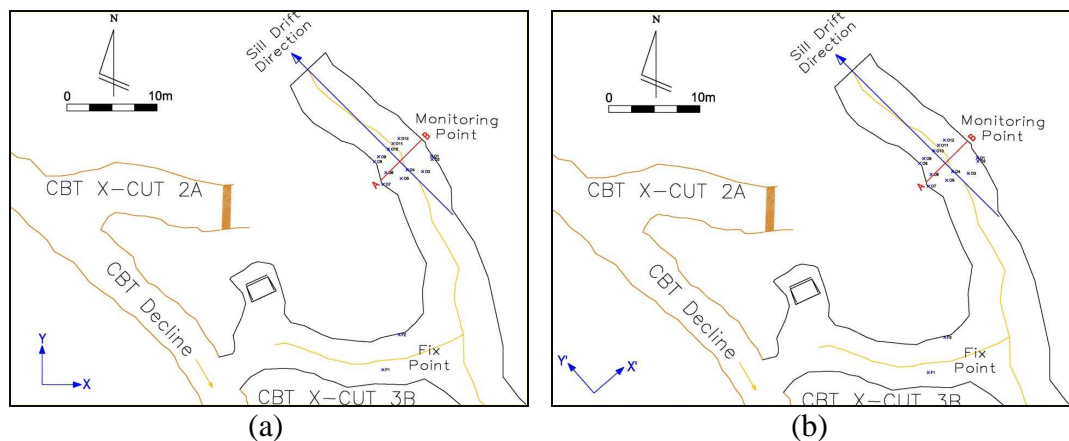
Pengukuran perpindahan menggunakan alat *total station reflektorless* tipe leica 06 dengan pin *monitoring* terbuat dari besi ulir panjang 25cm yang dilengkapi stiker reflektor 5x5cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada dasarnya data pengukuran perpindahan pada perimeter *sill drift* menggunakan alat *total station* adalah berupa angka koordinat xyz dari titik-titik yang diamati dalam kurun waktu tertentu. Dari pengolahan data tersebut dapat diperoleh besar dan arah perpindahan deformasi yang terjadi.

A. Transformasi Sumbu Koordinat

Untuk memudahkan penentuan besar dan arah perpindahan pada penampang melintang terowongan maka dilakukan rotasi sistem sumbu koordinat menjadi X' , Y' Z' dimana Y' searah dengan sumbu penampang terowongan dan Z' searah vertikal (lihat Gambar 5). Dengan rotasi ini, selanjutnya diasumsikan tidak ada perpindahan pada arah sumbu Y' , dan perpindahan akan dilihat dalam komponen X' dan Z' dalam perhitungan penentuan perpindahan yang terjadi pada titik-titik pemantauan.



Gambar 5. (a) sebelum transformasi, (b) sesudah transformasi

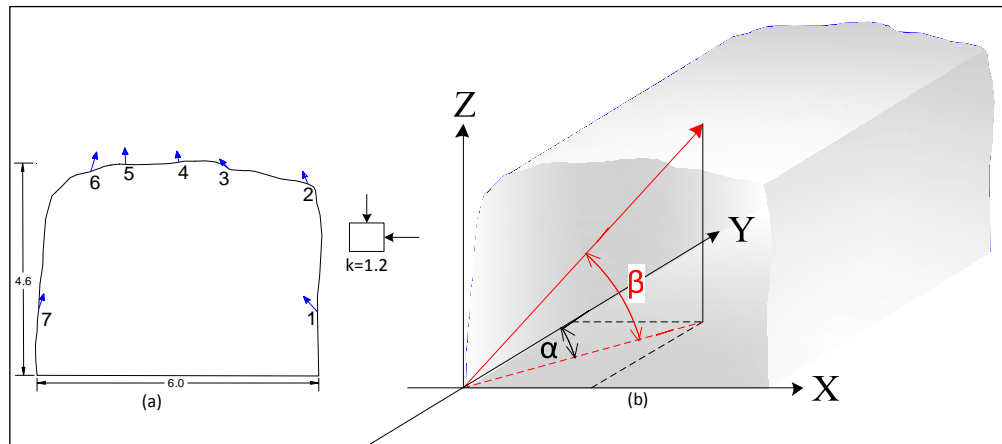
B. Besar dan Arah Perpindahan

Hasil perhitungan perpindahan beserta arahnya dapat dilihat pada (Tabel 1), arah resultan perpindahan diterjemahkan dalam arah *trend* (α) dan *plunge* (β), yaitu arah resultan perpindahan dari sumbu Y ke sumbu X *sill drift* dan sudut resultan perpindahan terhadap bidang horizontal (floor) *sill drift*. (Gambar 6).

Besar resultan perpindahan kumulatif yang terjadi sangat besar dengan rata-rata 218 mm dengan *trend* resultan berkisar dari arah $Y105^\circ - 288^\circ X$. Dan *plunge* berkisar antara $36^\circ - 79^\circ$.

Tabel 1 Besar dan Arah Perpindahan

No	Posisi titik pada dinding terowongan	Besar dan Arah Perpindahan					
		ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔZ (mm)	Resultan (mm)	Trend (α) ($Y...^\circ X$)	Plunge (β) ($^\circ$)
1	Right Wall	-9,9	1,4	11,0	99,2	278	48
2	Right Corner	-3,5	-0,7	9,0	222,1	259	68
3	Right Corner	-6,4	2,1	7,0	218,0	288	46
4	Center	-1,4	-2,8	8,0	205,3	207	68
5	Left Corner	-0,7	-16,3	12,0	198,1	182	36
6	Left Corner	4,2	-2,8	14,0	242,2	124	70
7	Left Wall	3,5	-2,1	11,0	220,4	121	69



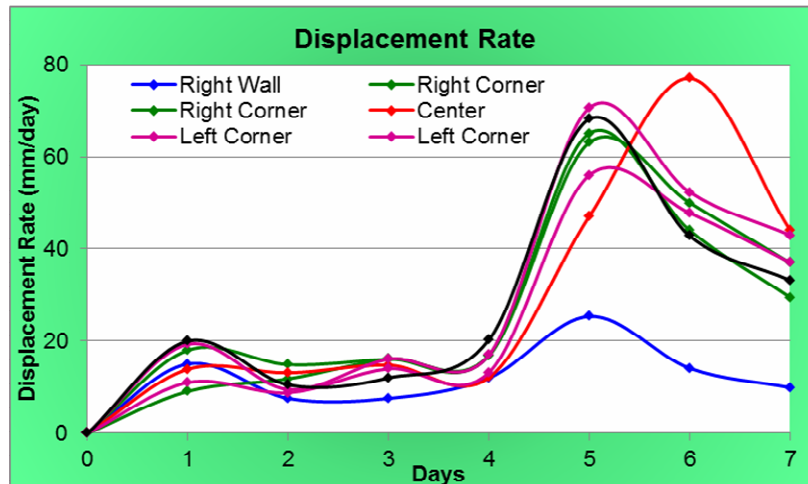
Gambar 6. (a) sketsa resultan perpindahan, (b) posisi *trend* dan *plunge*

Hasil Perhitungan menunjukkan perpindahan yang terjadi pada dinding kanan dan dinding kiri menuju kearah dalam terowongan sedangkan perpindahan pada titik pengamatan di atap relatif bergerak menuju kearah atas terowongan. Perilaku perpindahan yang terjadi diasumsikan akibat pengaruh tegangan horisontal lebih besar dari tegangan vertikal ($\sigma_H > \sigma_V$) pada tempat tersebut yang mengakibatkan arah perpindahan pada sumbu X bergerak kearah dalam rongga *sill drift* dan perpindahan pada sumbu Z bergerak kearah atas menuju rongga yang lebih besar pada level di atasnya. Hal ini selaras menurut Pan and Dong, 1991 bahwa perpindahan dari titik dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti *insitu stress*, sifat mekanik dari massa batuan, sistem penyangga batuan, dan urutan penggalian. Dan menurut Tingay M, 2010 bahwa maksimum horizontal stress mengarah NE-SW yang tegak lurus terhadap tumbukan lempeng Indo-Australian.

C. Laju / Kecepatan Perpindahan

Kecepatan atau laju perpindahan merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan perpindahan selama waktu tertentu. Menurut Cording 1974 dan Zhenxiang 1984 bahwa kecepatan perpindahan dapat dijadikan salah satu indikator dalam menilai kestabilan lubang bukaan bawah tanah.

Kecepatan perpindahan rata-rata 20mm/hari dan terjadi kenaikan yang signifikan pada hari 4 – 5, yang kemudian mengalami penurunan kembali. Gambar 7 menyajikan kecepatan kumulatif resultan perpindahan hasil pengukuran.



Gambar 7. Kecepatan Kumulatif Perpindahan

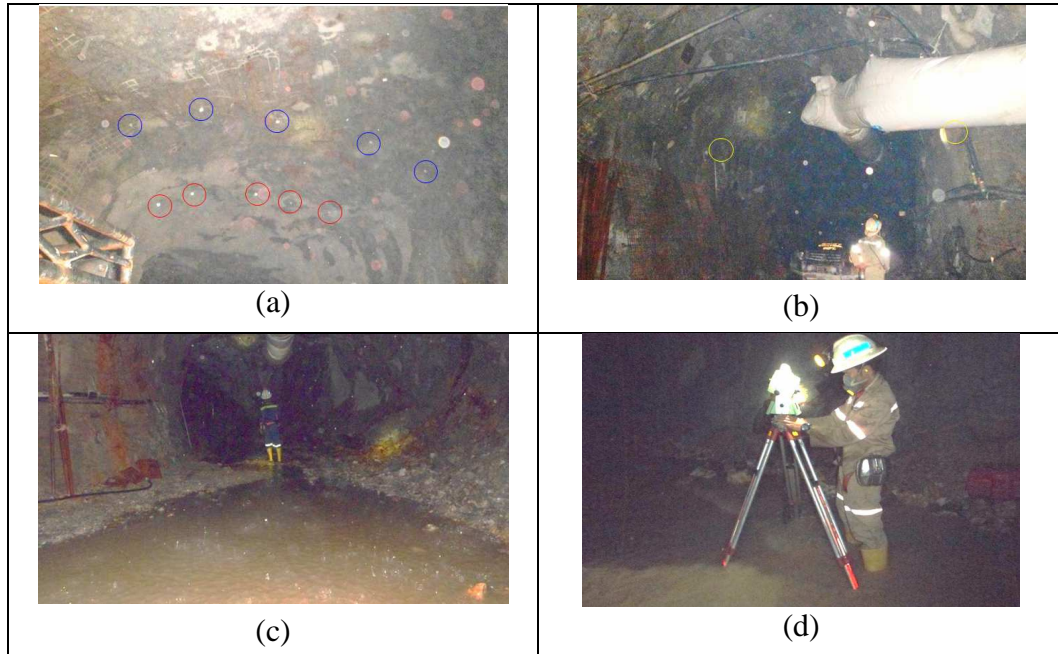
Dari hasil penelitian ini dapat dirasakan bahwa keuntungan pengukuran konvergen menggunakan alat *total station* adalah :

- Fleksibel digunakan untuk lubang bukaan bawah tanah yang berdimensi besar, titik pengamatan tinggi dan susah dijangkau
- Relatif cepat dalam melakukan pengukuran (proses pengambilan data) dan tidak mengganggu aktivitas penambangan
- Data koordinat yang diperoleh dapat diolah untuk mengetahui besar dan arah perpindahan baik secara 2 dimensi maupun 3 dimensi

Sedangkan kekurangan pengukuran menggunakan alat ini adalah tingkat akurasi relatif $>1\text{mm}$ dan beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil pembacaan data seperti : kepiawaian operator alat, titik acuan (*fix point*) yang digunakan, kondisi lubang bukaan bawah tanah yang kurang cahaya, lembab, dan kabut debu atau asap. Pada *sill drift* lokasi penelitian dipengaruhi oleh kondisi titik-titik air yang banyak dari atap *sill drift* dan lantai kerja yang tergenang air. Perhatikan Gambar 6.

KESIMPULAN

Pengukuran perpindahan dengan metode *surveying* menggunakan alat *Total Station reflektorless* dapat di terapkan pada lubang bukaan tambang yang aktif, fleksibel, dan relatif cepat dalam proses melakukan pengukuran. Hasil yang diperoleh dapat dikatakan bahwa kecepatan resultan perpindahan di semua titik pemantauan pada dinding/atap *sill drift* dalam kategori tidak stabil, sehingga diperlukan modifikasi prosedur penggalan dan tambahan system penyangga batuan.



Gambar 6. (a) posisi titik pengamatan pada atap (b) posisi titik acuan / *fix point*
(c) kondisi lantai kearah face (d) kondisi lantai saat pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- Hoek E and Brown E., 1982. *Underground Excavation in Rock*, Institute of Mining and Metallurgy, London.
- Sullem, J. Panet, M dan Guenot, A., A New Aspect in Tunnel Closure Interpretations, 26-th US Symposium on Rock Mechanics, South Dakota Scool of Mines and Technology. Rapid City, AD. 26-28 June 1985, pages : 455-460
- Pan, Y.W dan Dong, J.J., *Time Dependent Tunnel Convergence-I Formulation of the Model*. Jounal of Rock Mechanics and Mining Science, Volume 28 No.6 halaman pages (1991)
- Tingay M, dkk., 2010. *Present-day stress field of Southeast Asia*, Tectonophysics, 482, pp 92-104.
- 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)
- Zhenxiang, X. A., *Tunnel Design Method Using Field Measurement Data*. Proceedings of ISRM Symposium Design and Performance of Underground Excavation. Cambridge UK, 3-6 September, 1984. British Geotechnical Society, London. Halaman 221-229.