

## **Perkiraan Potensi Kelongsoran Lereng Lowwall Penambangan Batubara Berdasarkan Hasil Pemantauan Inclinometer PT.Adaro Indonesia**

Oleh : **Singgih Saptono<sup>1\*</sup>, Suseno Kramadibrata<sup>2</sup>, Budi Sulistianto<sup>2</sup>, Ridho K. Wattimena<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mahasiswa S3 – Geomekanika, Program Studi Teknik Pertambangan ITB

\*Email : [singgih@mining.itb.ac.id](mailto:singgih@mining.itb.ac.id)

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Pertambangan, ITB

### *Abstrak*

*Tinggi lereng penambangan keseluruhan akan semakin tinggi seiring dengan kenaikan produksi batubara. Tulisan ini merupakan salah satu bagian penelitian karakterisasi massa batuan mengenai pemantauan perpindahan massa batuan lereng lowwall di Pit Pama tambang terbuka batubara ADARO dengan menggunakan Inclinometer, yang terdiri dari Inclino No.8, 9 dan 10. Hasil pemantauan ini selanjutnya dianalisis untuk mengetahui kondisi stabilitas lereng lowwall dengan metode inverse-kecepatan. Hasil analisis membuktikan bahwa pemicu potensi kelongsoran adalah bidang perlapisan batulumpur-pasiran yang terdapat pada lantai lapisan batubara yang pada awalnya tidak diperkirakan akan terjadi kelongsoran besar, karena cenderung tidak ada peningkatan kecepatan yaitu, 2 – 1 hari/mm. Oleh karena itu kondisi lereng lowwall Pit Pama dinyatakan stabil. Agar dapat diketahui kondisi kestabilan lereng lowwall Pit Pama perlu diperoleh kekuatan geser batuan lereng lowwall dengan cara uji geser langsung skala besar (full scale direct shear test) dan uji insitu geser langsung (insitu direct shear test)*

### **1 PENDAHULUAN**

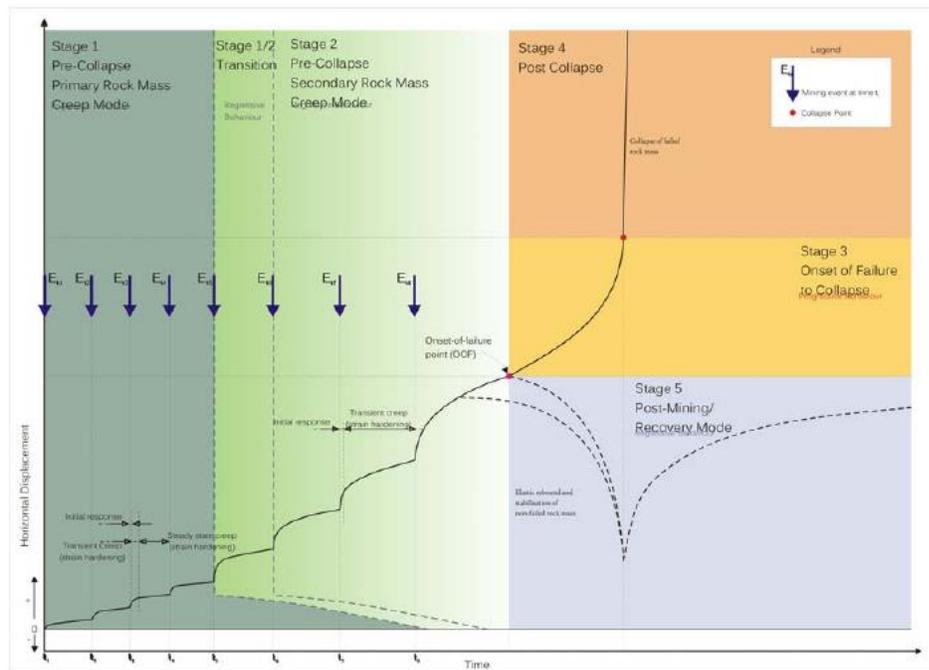
Tulisan ini berkaitan dengan peristiwa beberapa kelongsoran lereng yang terjadi di beberapa Pit di tambang terbuka batubara ADARO (Pit Pama, Pit Sis, Pit Buma dan Pit RA). Kelongsoran yang terjadi pada umumnya berjenis busur dan bidang serta bersifat lokal. Untuk mengetahui tahapan peristiwa kelongsoran memerlukan suatu upaya pemantauan. Salah satu jenis pemantauan yang dilakukan adalah dengan menggunakan Inclinometer.

Pemantauan Inclinometer dilakukan di beberapa lokasi seperti Inclino-8, 9, 10, 11 dan 12 tetapi pembahasan hanya akan dilakukan pada hasil pemantauan Inclino-8, 9 dan 10 yang berlokasi di Low wall Pit Pama. Sedangkan lokasi Inclino-11 di Buma, dan Inclino-12 masih dalam tahapan instalasi. Lokasi ini dipilih karena merupakan daerah lereng yang nantinya akan menjadi tambang terdalam di wilayah Tutupan, yaitu mencapai tinggi lereng keseluruhan 300 m. Batuan penyusun lereng didominasi oleh batupasir.

Untuk mengetahui apakah lereng ini memiliki potensi kelongsoran besar, maka perlu analisis hasil hasil pemantauan.

## 2 METODE ANALISIS METODE *INVERSE-VELOCITY (INVERSE-KECEPATAN)*

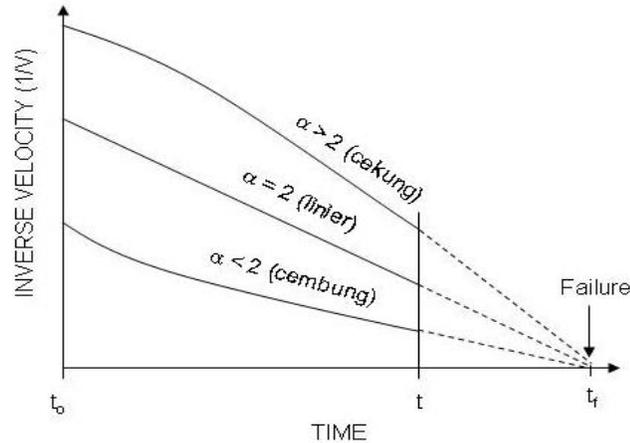
Peristiwa terjadi kelongsoran di lereng penambangan melalui lima tahapan (Mercer dan Stacey, 2008), yaitu tahap 1, *pre-collapse primary rock mass creep mode*; tahap 1/2, *transition*; tahap 2, *Pre-collapse secondary rock mass creep mode*; tahap 3, *onset of failure to collapse*; tahap 4, *post collapse*; dan tahap 5, *post-mining/recovery mode* (lihat Gambar 1). Secara umum kondisi perpindahan yang terjadi di lereng tambang masuk dalam tahap 1/2 yaitu *transition*.



Gambar 1. Gambaran pola perpindahan untuk perilaku perpindahan horizontal (Mercer dan Stacey, 2008)

Untuk memprediksi terjadinya longsor digunakan metode *inverse-kecepatan* yang didasarkan pada hasil penelitian skala penuh peristiwa kelongsoran lereng tanah akibat pengaruh hujan di Jepang (Fukuzono, 1985). Saat ini perhatian mengenai kelongsoran lereng bergantung waktu massa batuan mulai banyak menjadi topik-topik penelitian (Saito, 1988) dan dilanjutkan lebih mendetail oleh Voight (1988, 1989), Catur dkk. (2002), Wattimena et al. (2006), dan Kramadibrata et al. (2007)

Fukuzono (1985) menyatakan bahwa peristiwa longsor lereng selalu didahului oleh peningkatan kecepatan perpindahan dan model kecepatan perpindahan terhadap waktu sebagai model linier. Kondisi ini terjadi setelah model kecepatan perpindahan non-linier terlewati. Menurut Fukuzono, untuk memperkirakan kelongsoran lereng digunakan metode kecepatan perpindahan sebagai *inverse-kecepatan* ( $\Delta$ ). Pada saat akan longsor model *inverse-kecepatan* perpindahan terhadap waktu digambarkan sebagai garis linier setelah waktu ( $t$ ) dilampaui (lihat Gambar 1 dengan garis titik-titik) hingga mencapai waktu saat longsor lereng terjadi ( $t_f$ ).



Gambar 2. Hubungan inverse-velocity terhadap waktu sebelum peristiwa kelongsoran lereng (Fukuzono, 1985)

Berdasarkan hasil penelitiannya diperoleh 3 bentuk hubungan antara inverse kecepatan dengan waktu, yaitu bentuk cembung, cekung, dan linier, yang didefinisikan dengan persamaan (1):

$$V^{-1} = [A(\alpha - 1)]^{1/\alpha-1} (t_f - 1)^{1/\alpha-1} \quad (1)$$

Notasi  $t$  adalah waktu,  $A$  dan  $\Delta$  (1,5 – 2,2) adalah konstanta dan  $t_f$  adalah waktu di saat kelongsoran terjadi. Seperti pada Gambar 2, kurva inverse kecepatan berperilaku mengikuti bentuk linier pada konstanta  $\Delta = 1$ , cembung untuk  $\Delta < 2$ ) dan cekung untuk  $\Delta > 2$ . Dengan demikian, kelongsoran terjadi saat inverse kecepatan mencapai suatu waktu tertentu dan selanjutnya mengikuti fungsi linier. Dengan mengikuti fungsi linier maka akan dapat memperkirakan kapan terjadi kelongsoran.

Beberapa peneliti (Fukozono, 1985; Voight, 1988, 1989; Kilbrun et al., 2003; Wattimena et al. 2006; dan Kramadibrata et al., 2007) mengemukakan pada perilaku batuan ductile, kejadian longsor akan didahului oleh peristiwa rayapan. Peristiwa ini terjadi saat tegangan yang bekerja tetap, dan terjadi peningkatan kecepatan perpindahan, sehingga apabila dibuat suatu kurva akan menunjukkan hubungan antara inverse kecepatan dan waktu berbentuk linier.

### 3 GEOLOGI DAN KONDISI LERENG LOWALL

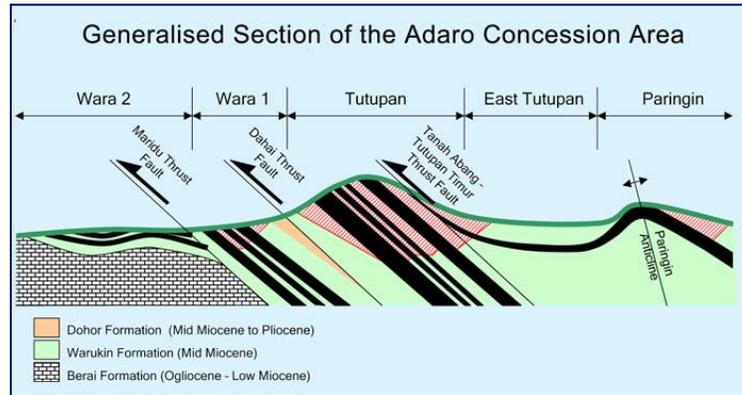
#### 3.1 Geologi

Perbukitan Tutupan mempunyai panjang sekitar 20 km, memanjang dari timur-laut ke barat-daya. Bukit ini terbentuk dan dibatasi oleh pergerakan dua sesar naik (*trust fault*) yang berarah parallel. Sesar di bagian barat bukit dikenal sebagai Sesar Naik Dahai, membatasi Formasi Dahor di bagian barat dan Formasi Warukin di bagian timur. Sesar lain yang membatasi bagian timur bukit adalah sesar naik Tanah Abang-Tepian timur. Data sesar dikenali dari data seismik dan pemboran sumur minyak. Struktur antiklin membentang di bagian timur bukit Tutupan, membentang parallel dan berdekatan dengan Sesar Naik Tanah Abang-Tepian timur (lihat Gambar 3).

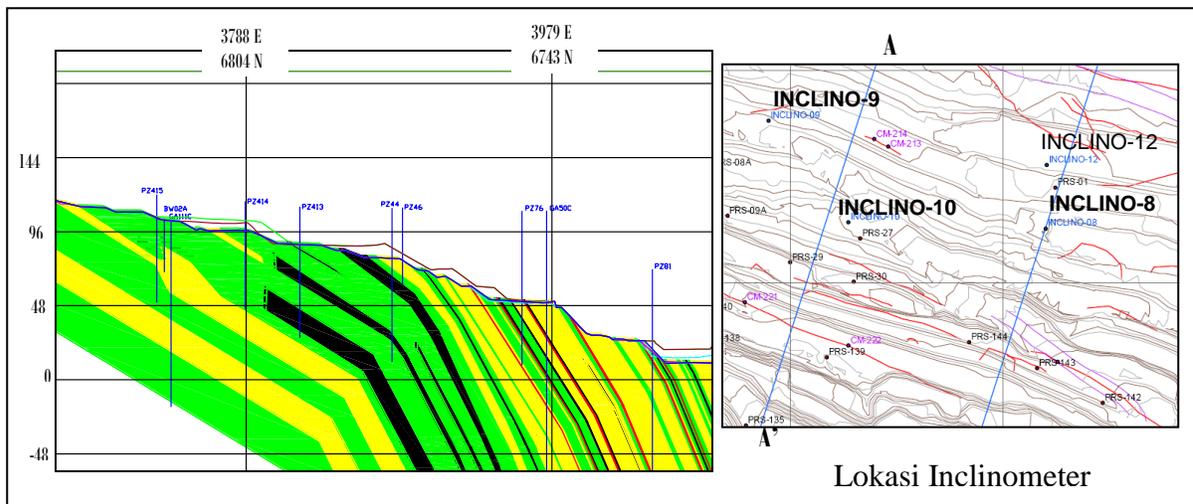
#### 3.2 Lereng Lowwall

Geometri lereng Lowwall mempunyai tinggi individu 20 m dengan kemiringan 20 - 40°, dan tinggi lereng keseluruhan 220 m dengan sudut kemiringan keseluruhan 17°. Sudut ini masih

dibawah sudut lantai batubara T110, yaitu  $55^\circ$  (lihat Gambar 4). Adapun susunan lapisan batuan pembawa batubara di bawah lowwall lantai lapisan batubara T110 yang dominan di beri notasi sebagai berikut: LMOF, LS1, LM3, LS2, LM5, LS3 dan LM7. Lapisan batubara terletak diantara lapisan batulumpur pada bagian atas dan lantai batubara dan tidak ada batupasir yang kontak dengan batubara. Lokasi pemantauan dengan Inclinometer (Inclino-8, 9, dan 10) pada Lowwall ditempatkan pada koordinat 67 – 68 N, 37 – 39 E pada elevasi 88 - 103 mRL (Low Wall, Gambar 4) dengan masing-masing kedalaman lubang adalah 50 m.



Gambar 3. Penampang geologi di daerah konsesi Adaro (Adaro Resources Report, 1999)

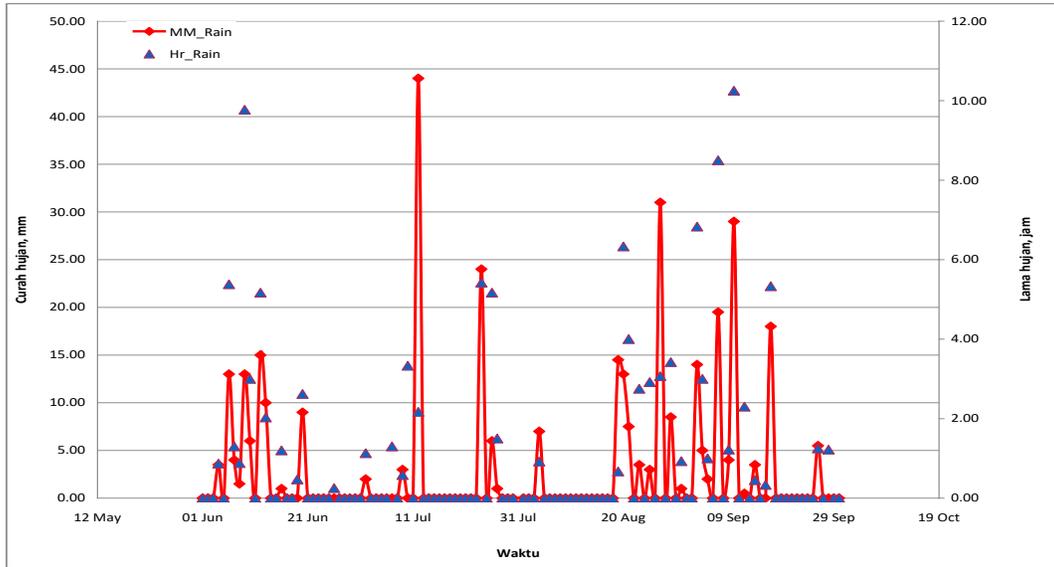


Gambar 4. Penampang sayatan A - A' lereng Lowwal di daerah pemantauan Inclino-8, 9, dan 10

### 3.3 Iklim dan curah hujan

Di wilayah tambang Tutupan curah hujan harian dibedakan berdasarkan pit. Pada Pit Pama berdasarkan data yang ada bahwa bulan Juli dan Agustus 2008 relatif tidak ada hujan, tetapi apabila hujan turun akan terjadi dalam waktu yang relatif lama. Pada Pit Pama curah hujan tertinggi mencapai 44 mm dengan lama hujan 2 jam pada 12 Juli 2008 dan setelahnya tidak ada

hujan. Hujan terlama mencapai 10 jam dengan curah hujan mencapai 29 mm pada 10 September 2008 (lihat Gambar 4).



Gambar 5. Curah hujan dan lama hujan di Pit Pama pada Juni – September 2008

### 3.4 Peralatan Inclinometer

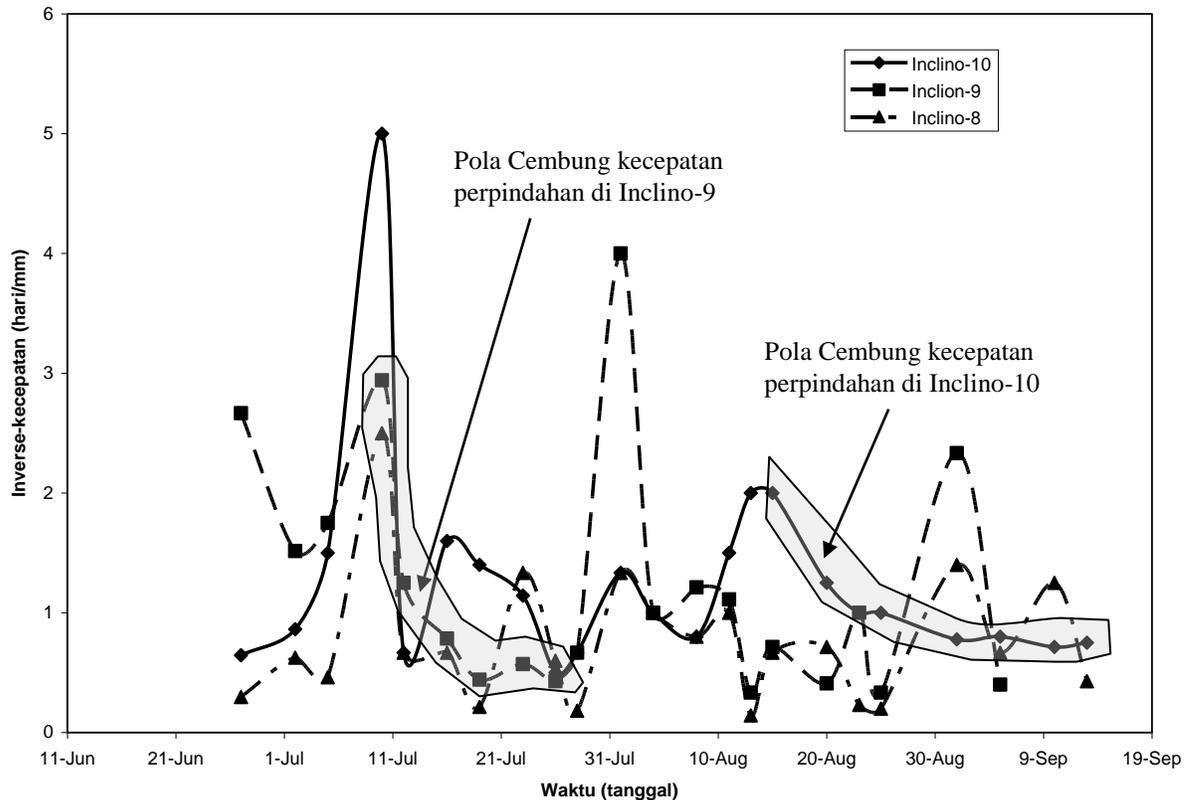
Peralatan Inclinometer termasuk alat monitoring sebagai alat pengukur perpindahan horisontal (*transverse deformation gages*). Alat ini didefinisikan sebagai alat pemantauan perpindahan tegak lurus terhadap sumbu pipa yang diukur melalui *probe* di sepanjang pipa. *Probe* ini mengandung suatu *gravity-sensing transducer* yang dirancang untuk mengukur perubahan sudut terhadap sumbu bervektikal.



Gambar 6. Peralatan dan perlengkapan Inclinometer

#### 4 HASIL PENGUKURAN DENGAN INCLINOMETER

Dari hasil pemantauan Inclinomometer yang dimulai pada bulan Juni sampai dengan akhir September 2008 dapat dirangkumkan ke dalam bentuk grafik kumulatif antara *inverse*-kecepatan perpindahan dan waktu seperti terlihat pada Gambar 7. Secara umum bentuk pola perpindahan massa batuan pada inclino 9 dan 10 berbentuk cembung seperti ditunjukkan oleh arsiran di Gambar 7. Pada Inclino-9 perubahan kecepatan perpindahan dimulai 5 Juli 2008 sebesar 2,94 hari/mm menuju 0,67 hari/mm dan pada Inclino-10 perubahan kecepatan dimulai 2 hari/mm menuju 0,75 hari/mm.



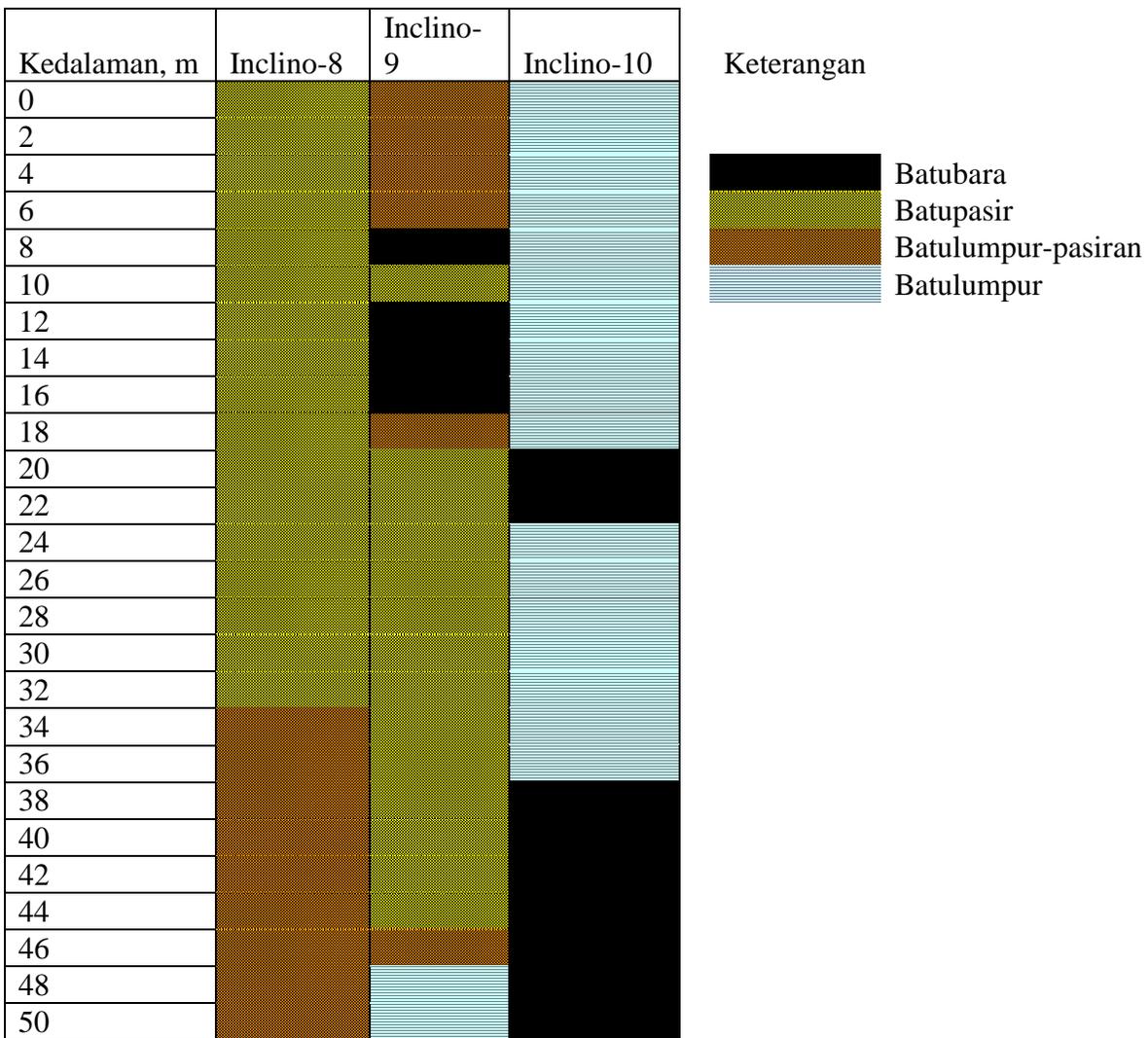
Gambar 7. Kurva *inverse*-kecepatan terhadap waktu untuk Inclino-8, 9 dan 10

Hasil pemantauan Inclino-9 menunjukkan peningkatan kecepatan perpindahan dari akhir Juni dari 2,94 hari/mm hingga 0,43 hari/mm pada 25 Juli 08, dan selanjutnya kecepatan perpindahan berfluktuasi. Demikian pula untuk Inclino-10 bahwa mulai pertengahan bulan Agustus terjadi peningkatan perpindahan dari 2 hari/mm menjadi 0,75 hari/mm. Hasil pemantauan di Inclino-8 menunjukkan *inverse*-kecepatan fluktuatif dengan *inverse*-kecepatan tertinggi adalah 0,18 hari/mm (28 Juli 2008) dan kecepatan terendah adalah 2,5 hari/mm (10 Juli 2008).

## 5 DISKUSI

Pada lubang Inclino-8 sampai kedalaman 50 m tidak ditemukan lapisan batubara hanya tersusun oleh batupasir dan batulumpur-pasiran. Pada lubang Inclino-9 dijumpai lapisan batubara pada kedalaman 7 – 9 m dan 10 – 15 m, diantaranya lapisan batubara ditemukan lapisan batupasir. Pada lubang di Inclino-10 sebagian besar tersusun oleh lapisan batulumpur, dan ditemukan dua lapisan batubara pada kedalaman dari 20 – 22 m dan dari kedalaman 39 – 50 m (lihat Gambar 8)

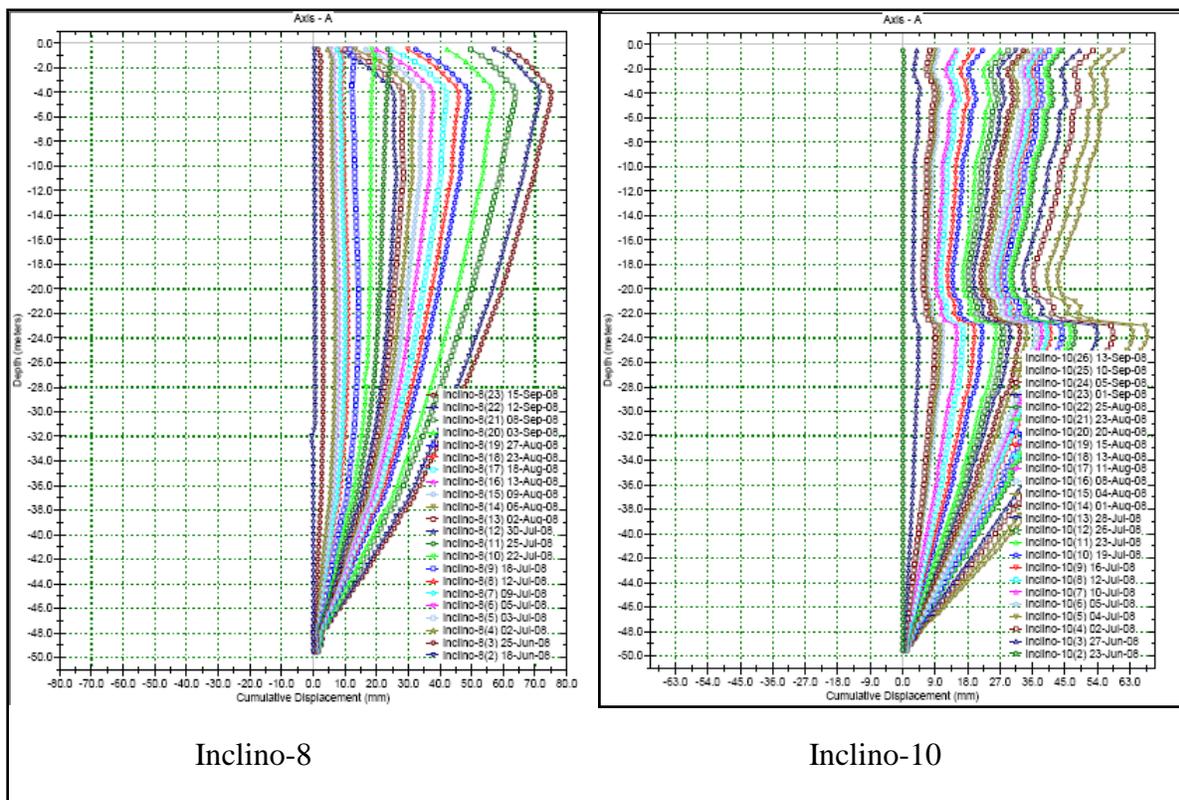
Berdasarkan hasil karakterisasi massa batuan di tambang daerah Pit Pama bahwa klas massa batuan untuk batupasir di Pit Pama sebagian besar termasuk klas batuan lunak dan menurut RMR termasuk klas IV, tetapi ada juga yang masuk klas II dengan bobot berkisar 22 – 64 (Saptono dkk., 2008a). Selain termasuk batuan lunak sampai dengan batuan keras, sifat batupasir dapat meloloskan air karena terdapat pori diantara butiran penyusunnya.



Gambar 8. Susunan lapisan batuan bawah permukaan di masing-masing Inclinomometer

Hasil pemantauan inclinometer dapat memberikan gambaran mengenai kondisi perpindahan di sepanjang lubang pemantauan. Kondisi perpindahan ini dapat dilihat pada hasil pemantauan Inclino-8 dan Inclino-10. Hasil Inclino-8 menunjukkan kondisi massa batuan yang relatif homogen memperlihatkan tidak ada lonjakan perpindahan. Sedangkan hasil Inclino-10 memperlihatkan terjadi adanya pergerakan perpindahan yang cukup jelas di kedalaman 22 m. (lihat Gambar 8).

Curah hujan sebesar 31 mm dengan durasi hujan 3 jam terjadi pada 27 Agustus 2008 dan pada 3 September 2008 terjadi hujan dengan curah hujan 14 mm lama hujan 7 jam. Sehingga dapat diduga bahwa pergerakan ini dipicu oleh adanya curah hujan. Hal ini ditunjukkan oleh adanya pembelokan hasil pembacaan inclinometer di kedalaman tersebut. Sedangkan lubang Inclino-8 tidak menunjukkan ada perubahan pembelokan hasil pembacaan Inclinometer.



Gambar 9. Kurva perpindahan massa batuan hasil pemantauan Inclinometer

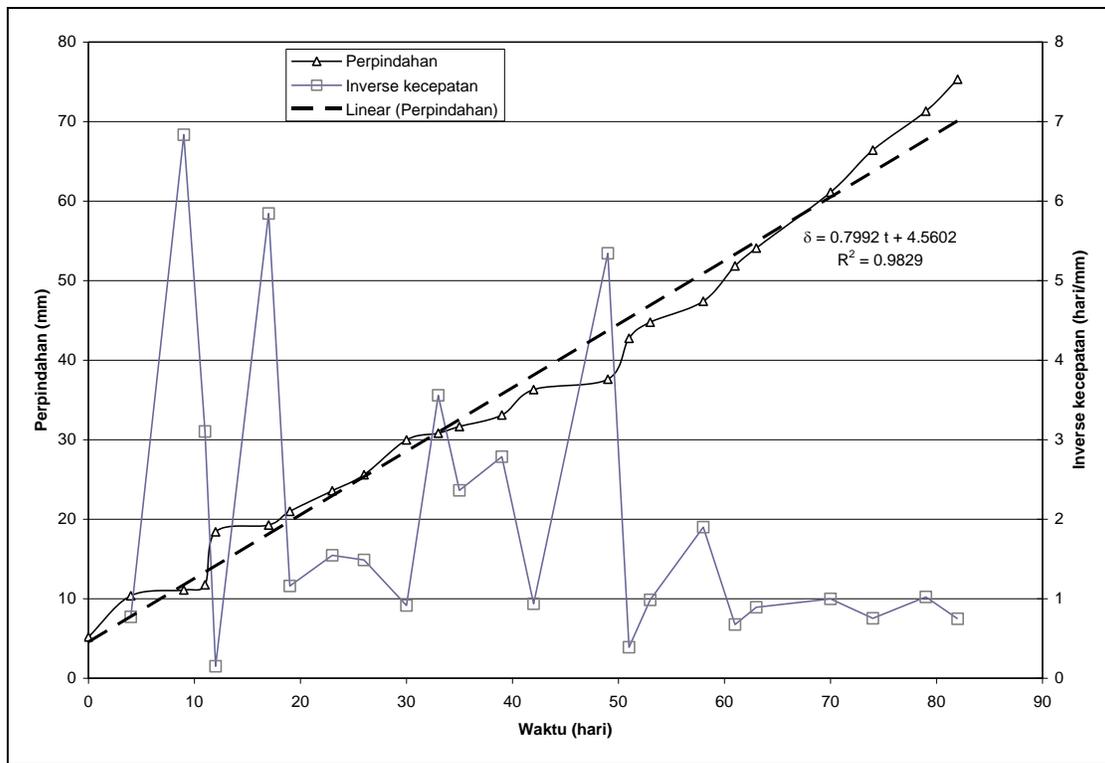
Besarnya perubahan perpindahan yang terjadi di Inclino-10 pada kedalaman 22 m dari 10,4 mm menjadi 23,5 mm atau mengalami perubahan *inverse*-kecepatan dari 6,6 hari/mm menjadi 0,6 hari/mm, peningkatan perpindahan ini diduga dipengaruhi oleh kondisi hujan. Selanjutnya *inverse*-kecepatan tidak mengalami peningkatan yang berarti dengan besar *inverse*-kecepatan berkisar antara 2.0 hari/mm sampai dengan 0,9 hari/mm.

Dengan melihat kecenderungan perpindahan yang terjadi dari awal instalasi Inclinometer sampai hari ke 82 pemantauan, peristiwa perpindahan pada kedalaman 22 m masuk pada tahapan rayapan

sekunder. Jenis rayapan sekunder ini dicirikan oleh adanya kecenderungan model perpindahan mengikuti model linier. Kondisi ini sesuai dari hasil perpindahan di Inclino-10, seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus pada Gambar 9. Jenis rayapan sekunder pada kedalaman 22 m mengikuti pola persamaan linier (2), yaitu:

$$\Delta = 0,79 t + 4,56 \quad (2)$$

Notasi  $\Delta$  adalah perpindahan (mm) dan  $t$  adalah waktu (hari). Dengan demikian, secara umum kondisi lereng pada daerah Lowwall dalam kondisi stabilitas yang mantap. Kondisi ini menunjukkan adanya perilaku yang sama dari hasil analisis data pemantauan permukaan lereng dengan metode survey oleh peralatan Robotic Theodolit di daerah Lowwall Pit Pama, yaitu sedang mengalami proses rayapan (Saptono dkk. 2008b).



Gambar 10.rafik perpindahan antara inverse-kecepatan terhadap waktu Inclino-10 di kedalaman 22 meter

Dengan mengkombinasikan hasil penelitian mengenai karakterisasi massa batuan, pemantauan perpindahan, pengujian laboratorium dan pengujian geser skala besar serta pengujian geser insitu massa batuan akan diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif untuk menilai tingkat stabilitas lereng penambangan, khususnya di lereng tambang batubara.

## 6 KESIMPULAN

- a. Pada lereng Lowwall, dengan menerapkan metode *inverse*-kecepatan belum dapat diduga kapan akan terjadi kelongsoran, akan tetapi hasil analisis menunjukkan secara keseluruhan kondisi lereng pada kondisi stabilitas yang mantap, dan terprediksikan adanya potensi terjadi kelongsoran bersifat lokal akibat pengaruh hujan.
- b. Sampai kedalaman 50 m dari permukaan lereng, berdasarkan perpindahan yang terjadi pada lereng masuk dalam tahap rayapan sekunder. Lereng memiliki *inverse*-kecepatan rayapan tetap sebesar antara 2 – 1 hari/mm.
- c. Untuk mengetahui tingkat stabilitas lereng diperlukan tambahan data kekuatan geser batuan. Dengan demikian, disarankan untuk melakukan pengujian kuat geser skala besar dan pengujian geser langsung insitu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Managemen PT. ADARO Indonesia yang telah memberikan dukungan dalam membantu terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Dunncliff, C.J., (1988), *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*, John Wiley & Sons. Inc., New York, 577 pp.

Catur, G., Kramadibrata, S., Rai, M.A., (2002): *Analisis perilaku rayapan batulempung dengan uji rayapan geser langsung di laboratorium*, Pertemuan Tahunan Perhimpunan Ahli Tambang Indonesia (Perhapi), Yogyakarta.

Fukozono, T., (1985), *A New Method for Predicting the Failure Time of Slope*, Proceedings of the fourth international conference and field workshop on landslides, Tokyo: Japan Landslide Society, p. 145 – 150.

Kramadibrata, S., Matsui, K., Ray, M.A., and Shimada, H. (2001): *Properties of Soft Rocks with Particular Reference to Indonesian Mining Conditions*, 2<sup>nd</sup> Asian Rock Mechanics Symposium – ISRM Symposium, Beijing.

Kramadibrata, S. Hindarto, H., Sularmo, W., (2002): *The role of time dependent analysis to improve environmental management system in mine closure plan in open pit mine*, UNEP/SETAC/APEC–GEMEED/ICMM/NRCan, April 15 to 17, 2002, Montreal, Canada.

Wattimena, R. dan Kramadibrata, S., Damanik, B.J., (2006): *Studi Perilaku Rayapan Geser Jangka Panjang di Laboratorium*, Teknologi Mineral, XII (3).

Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., Sulistianto, B., Simangunsong, G.M., Tobing A., (2007): *Study on Shear Strength Characteristic of Coal Bearing Strata*, Congress International. Society of Rock Mechanics., Lisbon, Portugal.

Mercer, K.G., and Stacey, T.R., (2008): *A Generalized Time and Event Dependent Deformation Model for Unsupported Rock Slopes*, Proceeding 1<sup>st</sup> Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Vol. 1, Potvin et al. eds. Perth. Australia. pp. 481 – 492.

Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B., Wattimena, K.R., (2008a): *Peranan Klasifikasi Massa Batuan Pada Perancangan Lereng Tambang Terbuka Penambangan Batubara, PT. Adaro Indonesia*, Proceeding TPT XVII – Perhapi. Palembang.

Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B., Wattimena, K.R., Nugroho, P., Iskandar, E., and Bahri, S., (2008b): *Low Wall Slope Monitoring By Robotic Theodolite System Likely to Contribute to Increased Production of Coal in PT. ADARO Indonesia*, Proceeding 1<sup>st</sup> Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, Vol. 1, Potvin et al. eds. Perth. Australia. pp. 451 – 458.