



## ANALISIS KARAKTERISTIK DAN AMBANG BATAS ALARM *VELOCITY* DAN *INVERSE-VELOCITY* JENIS BATUAN DAN STRUKTUR GEOLOGI DATA *SLOPE STABILITY RADAR*

**Barlian Dwinagara, Muh. Arif Idham**

Program Studi Magister Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia  
arifogeologist@gmail.com

### Abstrak

*Kestabilan lereng pada tambang terbuka menjadi perhatian dalam hubungan keselamatan maupun ekonomi dalam suatu lingkungan tambang. Banyak ketidakpastian dalam analisa kestabilan lereng, diantaranya karena sifat fisik, karakteristik massa batuan dan struktur geologi. Pemantauan perpindahan lereng (displacement monitoring) adalah salah satu metode analisis kestabilan berdasarkan data yang terukur secara riil di lapangan dan dapat membantu meminimalkan risiko terhadap keselamatan karyawan dan peralatan dalam lingkungan tambang. Slope Stability Radar (SSR) adalah salah satu peralatan pemantauan yang saat ini mulai dipakai oleh tambang terbuka di Indonesia. Tingkat akurasi, realibilitas dan intensitas pemantaun oleh SSR sangat baik dalam menampilkan “real deformation” dari suatu lereng. Dalam analisis data SSR, trend dari grafik yang menjadi kunci pemantauan. Kombinasi dari trend deformasi, trend maksimum velocity dan minimum inverse-velocity akan dihasilkan suatu nilai threshold dalam hubungannya dengan early warning time sebelum terjadinya longsor. Struktur geologi yang berkembang berupa sesar naik dan lipatan banyak meningkatkan ketidakstabilan pada dinding tambang hingga beberapa kasus menjadi pemicu kejadian longsor. Dari data velocity dan Inverse-velocity menunjukkan waktu kejadian longsor pada area dengan struktur geologi sebagai pemicu (triggering) terjadi lebih cepat. Penelitian dilakukan sebagai upaya membantu para engineer dalam meningkatkan kualitas pemantauan dengan melihat karakteristik berdasarkan trend data SSR, khususnya pada area dengan perbedaan jenis batuan dan adanya pengaruh struktur geologi terhadap longsor. Perbedaan karakteristik yang ada diharapkan membantu dalam menentukan threshold alarm sehingga dapat dijadikan acuan dalam SSR program dalam suatu manajemen risiko longsor, khususnya pada lingkungan tambang batubara.*

*Kata kunci : Inverse-velocity, Slope Stability Radar, Threshold Alarm, Velocity, Warning time*

### 1. PENDAHULUAN

Membuat lereng lebih optimis dengan *striping ratio* lebih kecil adalah salah satu langkah strategis dalam meningkatkan produktivitas penambangan. Disain optimis menimbulkan risiko lebih sehingga kestabilan lereng pada tambang terbuka menjadi salah satu isu penting terkait keselamatan karyawan dan peralatan dalam lingkungan tambang.

Teknologi metode pemantauan lereng tambang telah mengalami perkembangan yang signifikan. Salah satunya adalah *Slope Stability Radar* (SSR). Data pemantauan lereng dengan menggunakan instrument dianggap paling mewakili deformasi massa batuan itu sendiri. Struktur geologi sebagai faktor ketidakpastian akan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Pada area dengan struktur geologi berpengaruh, deformasi massa batuan cenderung memiliki perpindahan yang lebih cepat.

Tujuan utama penelitian ini diharapkan dari data *wall folder slope stability* dapat memberikan karakteristik dan nilai ambang batas (*Threshold-alarm*) berdasarkan *velocity* dan *inverse-velocity* lereng



yang longsor pada *Mudstone* dan *Sandstone* sebagai batuan utama dan pada area Struktur Geologi dan non struktur geologi yang bekerja.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 *Velocity* dan *Inverse-velocity*

*Velocity* memperlihatkan kecepatan material longsor dihitung dari perubahan deformasi berbanding dengan perubahan waktu, semakin tinggi nilai *velocity* dalam waktu tertentu maka lereng menunjukkan fenomena ketidakstabilan. *Invers – velocity* adalah kebalikan dari *velocity* itu sendiri. Jika nilai semakin rendah atau mendekati angka nol pada *inverse\_velocity* maka lereng akan semakin tidak stabil atau longsor. Perbedaan nilai *velocity* dan *inverse-velocity* perlu diamati untuk mengetahui perubahan perilaku dalam sistem dan analisis kestabilan lereng.

### 2.2 Jenis Batuan

Evaluasi jenis batuan dari material longsor didapatkan dari pengamatan secara fisik dengan pemetaan geologi permukaan skala kecil. berdasarkan jenis batuan secara umum dari hasil pemetaan geologi dari dinding yang telah longsor terdiri dari :

- Batu lempung (*Mudstone/claystone*): secara umum *insitu strength very low – low*, beberapa area medium strength, joint *slickensided*
- Batu pasir (*Sandstone*) : secara umum *insitu strength low - medium*, beberapa *medium to high*, ukuran butiran *fine – medium grained, joint planar to wavy*.
- *Laminated shaley siltstone/Mudstone* : *insitu strength very low – low*, terdapat inklusi karbon.
- *Seam* batubara. Hitam pecahan *medium - widely, insitu strength low – medium*.
- *Mudstones* dan *Sandstone* dianggap sangat stabil jika pada area tersebut tidak terdapat struktur geologi y

### 2.3 Pengaruh Struktur Geologi

Kebanyakan struktur geologi kompleks tidak dapat didefinisikan sebelum tersingkap dari kegiatan suatu proses penambangan, karena jarak antar bor geologi yang jarang melalui daerah struktur geologi yang kompleks. Dalam kejadian longsor yang diamati, dinding yang tidak stabil terdapat beberapa patahan dan lipatan skala kecil yang tidak dapat diamati secara detail untuk digambarkan dan dimodelkan.

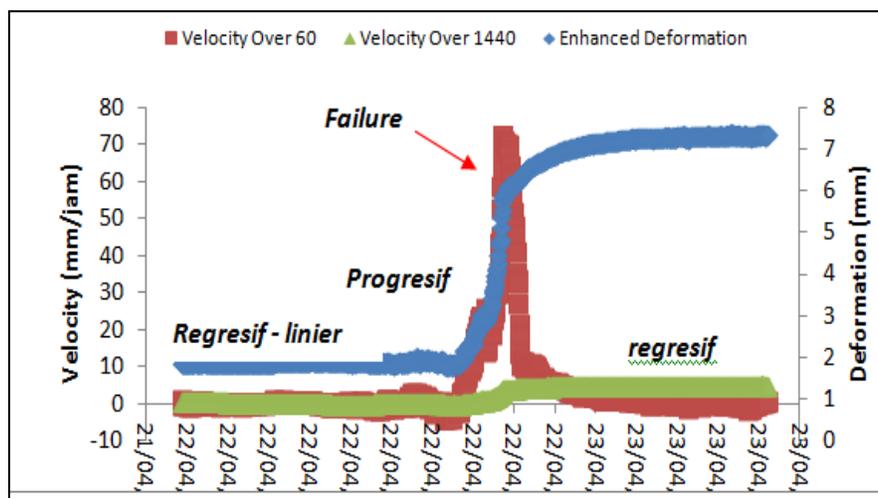
Struktur geologi area *low-wall* terdiri dari serangkaian patahan dan lipatan yang sejajar dengan bidang arah perlapisan (*dip*) batubara. Dampak dari patahan pada area *high-wall* relatif lebih kecil karena itu secara umum perlapisan batubara menuju ke *high-wall* relative linier dan bergantung pada kekuatan material penyusun *high-wall* itu sendiri.

Mekanisme longsor *slacking* dari *bedding plane* yang lemah pada perlapisan batuan akan sangat berisiko terhadap kestabilan lereng. Bidang struktur geologi sesar naik pada area *high-wall* tidak linier (variatif) dapat lebih curam ataupun hilang pada area yang belum terbuka di kedalaman tertentu. Struktur geologi pada area *low-wall* lebih variatif (lihat Gambar 1) dan akan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan berpotensi bahaya yang dapat berdampak terhadap keselamatan karyawan dan peralatan, kehilangan dan atau kontaminasi batubara serta penundaan aktifitas penambangan.



- 1) Tahap sebelum longsor batuan terdiri dari tahap perilaku perpindahan linear namun secara umum tidak ada perpindahan (*flat movement*).
- 2) Tahap perilaku progresif, ini umumnya terjadi lebih cepat dan tiba-tiba. umumnya dipicu oleh kegiatan penggalian pada kaki lereng yang menjadi faktor utama atau air hujan yang mengisi bidang lemah pada batuan.
- 3) Tahap timbulnya longsor.
- 4) Tahap setelah longsor tipe empat (Mercer, 2006) pada saat lereng mengalami pemulihan sebagian yang kemudian diikuti oleh keruntuhan akhir lainnya. Fase ini dapat berulang beberapa kali jika akumulasi material longsor belum sepenuhnya jatuh dan terdapat pemicu yang kuat seperti hujan, dan peledakan yang dapat mengubah perilaku dari regresif menjadi progresif.

Secara grafik karakteristik *velocity* karena pengaruh struktur geologi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik *Velocity* Struktur Geologi

### 3.2 Penentuan *Threshold*

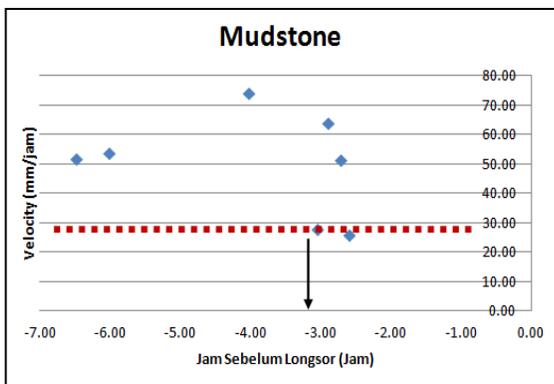
#### a. *Threshold* Untuk Jenis Batuan

Nilai minimum *velocity* pada batuan *mudstone* 25 mm/jam dan *sandstone* 20 mm/jam sehingga nilai frekuensi terbesar dari *inverse velocity* pada *mudstone* 0.04 jam/mm dan *sandstone* 0.05 jam/mm. Waktu sebelum longsor (*onset failure*) pada *mudstone* adalah 3.06 jam dan pada *sandstone* 2.08 jam, hal ini menunjukkan waktu yang dibutuhkan sebelum terjadinya longsor pada *sandstone* lebih cepat dibanding *mudstone*. Kecepatan longsor berdasarkan jenis batuan ini masih harus diverifikasi lagi dengan parameter lain yang kemungkinan berpengaruh pada longsor lereng.

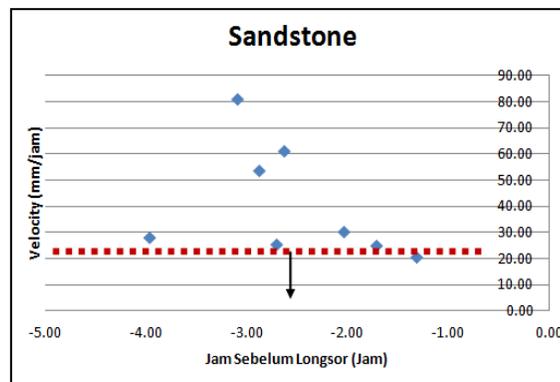
Tabel 1 menunjukkan nilai *threshold* dan *on-set failure* pada batuan *mudstone* dan *sandstone*. Grafik yang menunjukkan nilai *velocity* dan *invers velocity* untuk batuan *mudstone* dan *sandstone* dapat dilihat pada Gambar 4 – 7.

**Tabel 1.** *Threshold mudstone dan sandstone*

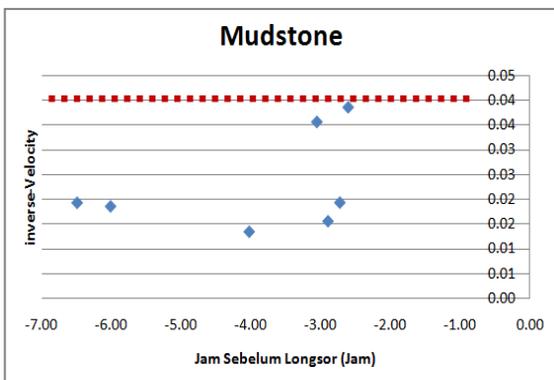
| Lokasi           | Ambang batas<br>( <i>threshold</i> ) |                                     | <i>On-set failure</i><br>(jam) |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
|                  | <i>Velocity</i><br>(mm/jam)          | <i>Inverse Velocity</i><br>(jam/mm) |                                |
| <i>Mudstone</i>  | 25                                   | 0.04                                | -3.06                          |
| <i>Sandstone</i> | 20                                   | 0.05                                | -2.68                          |



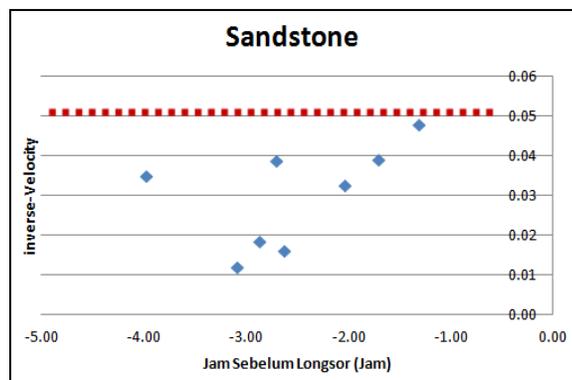
**Gambar 4.** *Threshold Velocity Mudstone*



**Gambar 5.** *Threshold Velocity Sandstone*



**Gambar 6.** *Threshold Inverse-Velocity Mudstone*



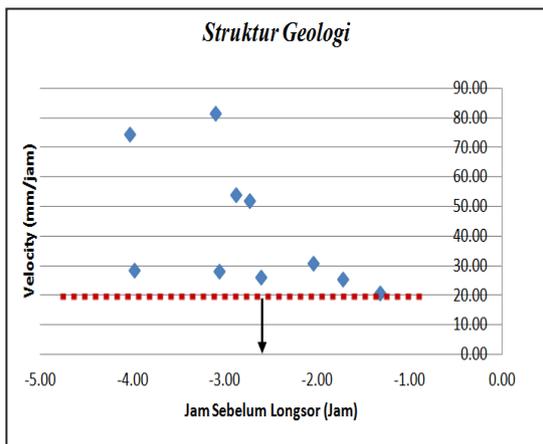
**Gambar 7.** *Threshold Inverse-Velocity Sandstone*

### b. *Threshold* Untuk Struktur Geologi

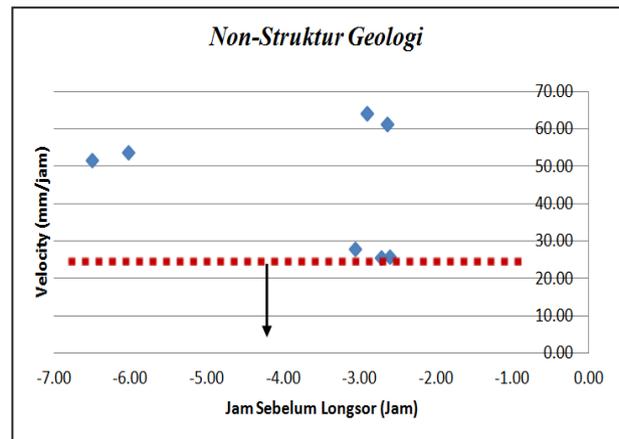
Nilai minimum *velocity* dengan struktur geologi adalah 20 mm/jam dan pada area dengan non struktur geologi 25 mm/jam. Nilai maksimum *inverse-velocity* dengan struktur geologi dominan adalah 0.05 jam/mm dan struktur geologi tidak dominan 0.04 jam/mm. Waktu sebelum longsor (*onset failure*) pada area struktur geologi adalah 2.75 jam dan untuk area non struktur geologi 4.15 jam. Hal ini menunjukkan kecepatan longsor pada area dengan struktur geologi lebih dominan sebagai pemicu (*triggering*) lebih tinggi dibanding non struktur geologi. Gambaran data dan grafik dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 8 – 11.

**Tabel 2.** *Threshold* pengaruh struktur geologi

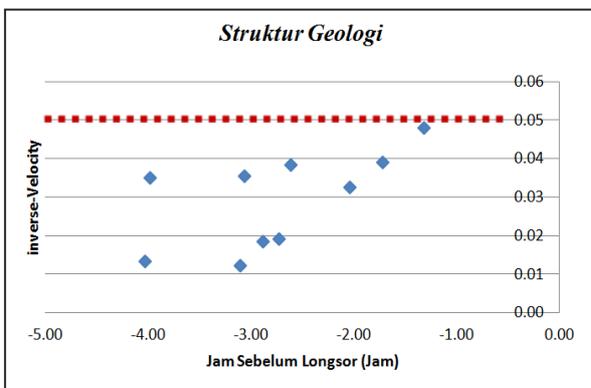
| Struktur Geologi     | Ambang batas ( <i>threshold</i> ) |                                  | <i>On-set failure</i> (jam) |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|                      | <i>Velocity</i> (mm/jam)          | <i>Inverse Velocity</i> (jam/mm) |                             |
| Struktur Geologi     | 20                                | 0.05                             | -2.75                       |
| Non-Struktur Geologi | 25                                | 0.04                             | -4.15                       |



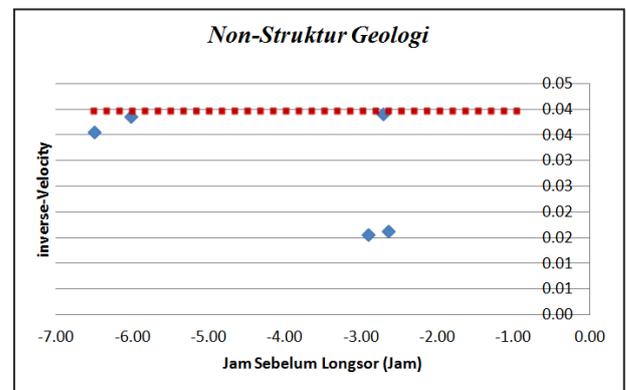
**Gambar 8.** *Threshold velocity* struktur geologi



**Gambar 9.** *Threshold velocity* Non-struktur



**Gambar 10.** *Threshold inverse-velocity* struktur



**Gambar 11.** *Threshold inverse-velocity* Non-struktur



#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian pemantauan dengan *Slope Stability Radar* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- a. Karakteristik longsor berdasarkan jenis batuan baik *Sandstone* maupun *Mudstone* secara umum dimulai perilaku perpindahan secara fase Linier – fase progresif menuju Longsor – Fase Regresif/flat movement.
- b. Waktu yang dibutuhkan sebelum terjadinya longsor pada *sandstone* lebih cepat dibanding *mudstone*. Sehingga *threshold alarm* pada *Sandstone* lebih kecil yaitu 20 mm/s dan untuk *Mudstone* adalah 25 mm/s. Kecepatan longsor berdasarkan jenis batuan ini masih harus diverifikasi lagi dengan parameter lain yang mempengaruhi kestabilan lereng.
- c. Karakteristik pada area struktur geologi terdiri dari tahap perilaku perpindahan linear namun secara umum tidak ada perpindahan fase *flat movement* – fase Progresif - fase Pemulihan sebahagian – fase Keruntuhan akhir.
- d. Fase Progresif umumnya terjadi lebih cepat dan tiba-tiba. umumnya dipicu oleh kegiatan penggalian pada kaki lereng yang menjadi faktor utama atau air hujan yang mengisi bidang lemah pada batuan. Fase pemulihan sebahagian dan fase keruntuhan akhir dapat berulang kali jika akumulasi material longsor belum sepenuhnya jatuh dan terdapat pemicu yang kuat seperti hujan, dan peledakan yang dapat mengubah perilaku dari regresif menjadi progresif.
- e. Struktur geologi yang ada banyak meningkatkan ketidakstabilan pada dinding tambang hingga beberapa kasus menjadi pemicu kejadian longsor. Dari data *velocity* dan *Inverse-velocity* menunjukkan waktu kejadian longsor pada area dengan Struktur Geologi sebagai pemicu (*Triggers*) terjadi lebih cepat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Broadbent C.D. and Zavodni, Z.M., **1982**, Influence of Rock Structures on Stability, in Stability in Surface Mining, *Society of Mining Engineers, Denver, Co. Vol. 3, Ch.2*.
- Fukuzono, T., **1985**, A new method for predicting the failure time of a slope. *Procs. 4th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, 145 – 150*.
- Golder, 2007, Preliminary Geotechnical Review Wahana Pit Feasibility Study South Kalimantan. Internal dokumen.
- Gultom, J., Sanang, A. M., Musa, R.H., **2014**, Prediksi Waktu Longsoran DiLereng Highwall Tambang Batubara Terbuka Dengan Metode Inverse Velocity, *Prosiding TPT XXIII Perhapi, Makassar Indonesia*.
- Harries, N., **2008**, The use of Slope Stability Radar (SSR) in managing slope instability hazards,” *Geomechanics*, pp. 53-54, January/February 2008.
- Hoek, E., and Bray, J.W., **1981**, ”Rock Slope Engineering”, *Institution of Mining and Metallurgy, London*.
- Kramadibrata, K., Saptono, S., Wicaksana, Y., Prasetyo, S., **2009**, Soft Rock Behaviour With Particular Reference to Coal Bearing Strata. *2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science - ITB, 10-11 March 2009*
- Mercer, K. G., **2006**, Investigation into the Time Dependent Deformation Behaviour and Failure Mechanisms of Unsupported Rock Slopes Based on the Interpretation of Observed Deformation Behaviour, *Unpublished PhD Thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa*.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., Wattimena, R., **2013**, *Mekanika Batuan*, Bandung, Penerbit ITB.
- Rose, N. D. and Hungr, O., 2006 : Forecasting Potential Rock Slope Failure in Open Pit Mines Using the Inverse-Velocity Method, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 44, pp 308-320
- Wahana Geotech, 2014, Laporan Geoteknik Pada Area Longsoran Low Wall Blok 77 -79. *Internal Document, Kalsel, Indonesia*.