

Analisis *Failure Time* Menggunakan Data GPS *Geodetic* dengan Metode *Inverse Velocity* pada Lereng *Disposal* HW 123 South Tutupan PT. Adaro Indonesia, Kalimantan Selatan

Hanswily Sinaga^{1)*}, Anggi Deliana Siregar¹⁾, Ericson¹⁾

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muara Bulian No.KM. 15, Mendalo Darat, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi, Indonesia.

* Corresponding author : hanswilysinaga03@gmail.com

Received: Desember 3, 2024; Accepted: Desember 30, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.31764/jpl.v5i2.28259>

Abstrak. PT. Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan batubara terbesar di Indonesia dengan salah satu operasi produksinya berada di area pit *south* tutupan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis *failure time* yang terjadi di *disposal output dump* area pit *south* tutupan. Terdapat perilaku pola perkembangan deformasi yang terjadi pada lereng disposal yaitu perilaku deformasi *linier*, *onset of failure* (OOF), perilaku deformasi progresif, *failure* hingga perilaku deformasi pasca *failure*. Dari deformasi tersebut maka diketahui status pergerakan lereng dari ketiga GPS yang digunakan (G21, G73, dan G76) yaitu kondisi aman berada pada kecepatan < 50 mm, kondisi hati-hati berada pada kecepatan 50 mm – 85 mm, kondisi waspada berada pada kecepatan 85 mm – 105 mm, dan kondisi bahaya berada pada kecepatan > 105 mm. Selanjutnya, dilakukan *back analysis* longsor dari data deformasi dengan *time window* yang berbeda. Prediksi longsor dengan *time window* (1 jam, 3 jam, 12 jam) masing-masing terjadi pada tanggal (9 Februari, 10 Februari, 10 Februari) serta *time window* (1 hari, 3 hari, 6 hari) terjadi pada tanggal (11 Februari, 12 Februari, 14 Februari), sehingga diperoleh *time window* 3 jam yang sesuai. Data *time window* 3 jam akan digunakan untuk melakukan *forward analysis* longsor berdasarkan data deformasi yang diambil dari tanggal 14 maret – 30 april. Dari hasil perhitungan deformasi, *velocity*, dan *inverse velocity*, maka didapatkan waktu prediksi longsor terjadi pada 12 juni. Selanjutnya *engginer* dapat melakukan evakuasi yang mana waktu evakuasi yaitu 6 jam sebelum terjadi longsor.

Kata Kunci: *deformation, landslide prediction, time window.*

Abstract. PT. Adaro Indonesia is one of the largest coal companies in Indonesia with one of its production operations located in the southern *tutupan pit* area. This research was conducted to analyze the failure time that occurred in the *output dump* area of the southern *tutupan pit*. There is a development pattern behavior that occurs on the slope, namely linear reaching behavior, *onset of failure* (OOF), progressive reaching behavior, *failure* to post-failure reaching behavior. From the deformation, the slope movement status of the three GPS used (G21, G73, and G76) is known, namely safe conditions are at a speed of < 50 mm, careful conditions are at a speed of 50 mm - 85 mm, alert conditions are at a speed of 85 mm - 105 mm, and dangerous conditions are at a speed of > 105 mm. Furthermore, a back analysis of landslides was carried out from deformation data with different time windows. Landslide predictions with time windows (1 hour, 3 hours, 12 hours) each occurred on the dates (February 9, February 10, February 10) and time windows (1 day, 3 days, 6 days) occurred on the dates (February 11, February 12, February 14). So the 3-hour time window is appropriate. The 3-hour time window data will be used to carry out forward analysis of landslides based on deformation data taken from March 14 - April 30. From the results of the deformation, velocity, and inverse velocity calculations, the predicted time of the landslide occurred on June 12. Furthermore, the engineer can carry out an evacuation where the evacuation time is 6 hours before the landslide occurs.

Keywords: *deformation, landslide prediction, time window.*

1. Pendahuluan

Kestabilan lereng area *disposal* tidak kalah pentingnya, dikarenakan sewaktu lereng *disposal* mengalami *failure* maka *overburden* tidak dapat dibuang ke area *disposal* yang mengakibatkan aktivitas pembuangan *overburden* hingga kegiatan produksi akan terhambat sehingga diperlukan adanya pemantauan lereng *disposal* secara berkala. Di tambang yang memerlukan operasi produksi berkecepatan tinggi, longsoran dan kestabilan lereng harus menjadi fokus manajemen bahaya geoteknik untuk memastikan keselamatan personel dan integritas peralatan tambang (Steven et al., 2020).

PT. Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan pertambangan terbesar di Indonesia serta dengan adanya kemajuan tambang yang membuat area penambangan semakin luas dan tinggi, maka pengamatan visual kestabilan lereng secara rutin menjadi kurang efektif. Dengan begitu, pemantauan kestabilan lereng perlu dibantu beberapa *slope monitoring instrument* sampai akhirnya terbentuk suatu sistem pemantauan lereng yang mampu mengukur parameter dengan tingkat akurasi yang dapat diterima. Terdapat kasus longsoran timbunan yang mengakibatkan aktivitas *dumping overburden* terhenti. Hal ini menjadi konsentrasi bagi tim *mine area* dan *slope monitoring* untuk melakukan pengecekan dan mengetahui penyebab terjadinya longsoran.

Terhentinya aktivitas *dumping overburden* pada *disposal output dump* mengakibatkan *dumping material overburden* dialihkan pada *disposal* alternatif sehingga mengalami penambahan *budget hauling distance*. Lereng akan mengalami deformasi dari waktu ke waktu sehingga diperlukan adanya alat *monitoring* deformasi untuk mengetahui pergerakan lereng tersebut. Alat *monitoring* yang digunakan pada PT. Adaro Indonesia yaitu: *Slope Stability Radar (SSR)*, *Robotic Total Station (RTS)*, dan *Global Positioning System (GPS)*. Alat yang digunakan untuk melakukan pemantauan lereng pada area timbunan adalah menggunakan GPS *Leica GMX 910*. Penempatan GPS di area timbunan menyesuaikan kontur topografi sehingga dapat menemukan area yang ideal, hingga biayanya yang lebih ekonomis dibandingkan pemasangan SSR dan RTS di area timbunan.

Deformasi lereng dapat diidentifikasi sehingga memungkinkan dapat memprediksi waktu terjadinya longsoran. Metode prediksi waktu longsor dilakukan menggunakan metode *inverse velocity* yang dibuktikan oleh Fukuzono (1985). Metode ini sudah sering digunakan dalam memprediksi waktu longsor dan terbukti mampu memberikan prediksi yang relevan. Prediksi longsor dengan *time window* yang berbeda akan menghasilkan waktu prediksi longsor yang berbeda pula, sehingga dilakukan untuk mengetahui akurasi dalam waktu longsor actual (Gultom et al., 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan deformasi lereng *disposal* hingga nilai *trigger level* untuk menentukan setiap kondisi keamanan lereng, melakukan analisis balik longsor menggunakan data historikal deformasi longsor untuk menentukan *time window* yang relevan, dan melakukan analisis prediksi longsor dari data deformasi menggunakan *time window* yang relevan.

Beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini antara lain: prediksi longsor pada lereng timbunan (Munthaha et al, 2022), prediksi waktu longsor dengan metode *inverse velocity* (Gultom et al., 2014; Fukuzono, 1985), prediksi waktu longsor (Amitrano dan Helmstetter, 2006), deformasi batuan pada lereng tambang terbuka (Broadbent dan Zavodni, 1982).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan merupakan metode kuantitatif dengan jenis penelitian evaluasi. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan evaluasi waktu longsor yang telah terjadi. Parameter yang digunakan dalam metode ini yaitu nilai deformasi, nilai *velocity*, nilai *inverse velocity*, hingga *trendline* untuk memprediksi waktu longsor.

2.1. Pengumpulan Data

a. Data Primer

Berikut data primer yang didapatkan dan diolah di lapangan yaitu Deformasi Lereng *Disposal South Tutupan*. Data pergerakan lereng yang akan digunakan untuk mengetahui deformasi, *velocity* hingga *inverse velocity* yang akan digunakan untuk memprediksi longsoran.

b. Data Sekunder

Berikut data sekunder yang diperoleh dari perusahaan yaitu:

1. Peta Geologi Regional, peta ini digunakan untuk mengetahui formasi geologi yang ada pada wilayah operasional perusahaan.
2. Data Koordinat IUPK, data ini dipergunakan untuk mengetahui wilayah operasional perusahaan.
3. Topografi, data topografi *disposal* digunakan untuk mengetahui kondisi daerah penelitian.

2.2. Pengolahan Data

Data historikal deformasi lereng *disposal* diambil selama 1 bulan (1 januari – 31 januari) untuk mengetahui deformasi dan kenaikan kecepatan sehingga diketahui tahapan sebelum terjadinya *failure*. Selanjutnya data deformasi tersebut akan dipergunakan untuk melakukan analisis balik longsor dengan *time window* yang berbeda yaitu dari *time window* (1 hari, 3 hari, 6 hari) dan *time window* (1 jam, 3 jam, 12 jam). Setelah diketahui *time window* yang relevan atau mendekati kejadian sebenarnya, maka dilakukan analisis prediksi longsor menggunakan data deformasi selama penelitian (14 Maret – 30 April) untuk mendapatkan waktu prediksi longsor menggunakan *time window* yang relevan.

2.3. Analisis Data

Pola deformasi yaitu menghitung kecepatan rata-rata deformasi harian yang terlihat dari kenaikan grafik deformasi, sehingga dapat diketahui deformasi lereng dalam kondisi aman hingga deformasi lereng dalam keadaan *failure*. Kenaikan pergerakan seiring waktu diinterpretasikan menjadi 4 pola pergerakan untuk dijadikan dasar menentukan kondisi kestabilan lereng yaitu, pola pergerakan regresif (*primary stage*), pola pergerakan linier (*secondary stage*), pola pergerakan progresif (*tertiary stage*), dan *post failure*. Selanjutnya 4 kategori yang dihubungkan dengan kecepatan pergerakan lereng yaitu: *Creep*, *Cracking*, *Collapse*, dan *Post failure* (Sullivan, 2007; Munthahaet al, 2022). Selanjutnya dilakukan pengaplikasian TARP (*Trigger Action Response Plan*) untuk menentukan level risikonya. Persamaan matematika yang digunakan dalam analisis data pada penelitian ini sebagai berikut (Fukuzuno, 1985):

$$\Delta D = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 + (Z_i - Z_0)^2} \quad (1)$$

Keterangan:

- ΔD = Deformation (m)
- X_i = posisi koordinat easting
- X_0 = posisi koordinat easting awal
- Y_i = posisi koordinat northing
- Y_0 = posisi koordinat northing awal
- Z_i = elevasi
- Z_0 = elevasi awal

Deformasi lereng dilambangkan dengan (D) digunakan untuk mengetahui kondisi pergerakan lereng hingga menentukan kecepatan pergerakan lereng.

$$V = \frac{D}{T} \text{ atau } V = \frac{D}{(T_i - T_0)} \quad (2)$$

Keterangan :

- V = velocity (mm/day)
- D = deformation (m)
- T_i = waktu pengambilan data ke-i (day)
- T_0 = waktu pemasangan gps (day)

Kecepatan dilambangkan dengan (V) berfungsi untuk mengetahui kecepatan deformasi lereng. Semakin cepat deformasi maka semakin cepat lereng mengalami longsor.

$$IV = \frac{1}{V} \quad (3)$$

Keterangan:

- IV = Inverse Velocity
- V = Velocity (mm/day)
- 1 = Konstanta

Inverse Velocity (kecepatan terbalik) yang dilambangkan dengan (IV) berguna untuk menentukan waktu prediksi terjadinya longsor. Ditarik garis *trendline* sampai titik 0, untuk menentukan waktu prediksi longsor.

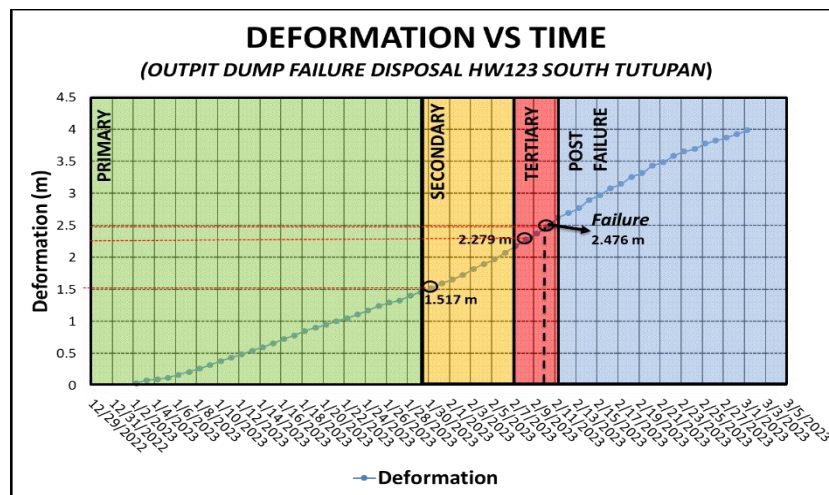
3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai *failure* yang terjadi pada area *disposal output dump south* tutupan, yang mengakibatkan area tersebut dievakuasi dan aktivitas dumping material dialihkan ke *disposal* alternatif yang jaraknya lebih jauh sehingga mengalami penambahan *budget hauling distance* hingga waktu *dumping* material. Untuk itu akan dilakukan identifikasi karakteristik perilaku deformasi lereng sebelum hingga setelah longsor terjadi.

Ketidakstabilan lereng *disposal* umumnya didahului oleh berbagai tanda peringatan, diantaranya peningkatan kecepatan deformasi, munculnya *crack*, kehadiran *bulging* di kaki lereng *disposal* atau di pondasi *disposal*, serta peningkatan *pore pressure*. Dari tanda-tanda ketidakstabilan lereng tersebut maka akan dibuat tahapan pergerakan lereng guna untuk mengetahui kondisi lereng sebelum terjadinya longsor.

3.1. Pergerakan Deformasi Lereng *Disposal* hingga *Trigger Level*

1. Pergerakan Lereng *Disposal*



Gambar 1. Grafik *Deformation vs Time*

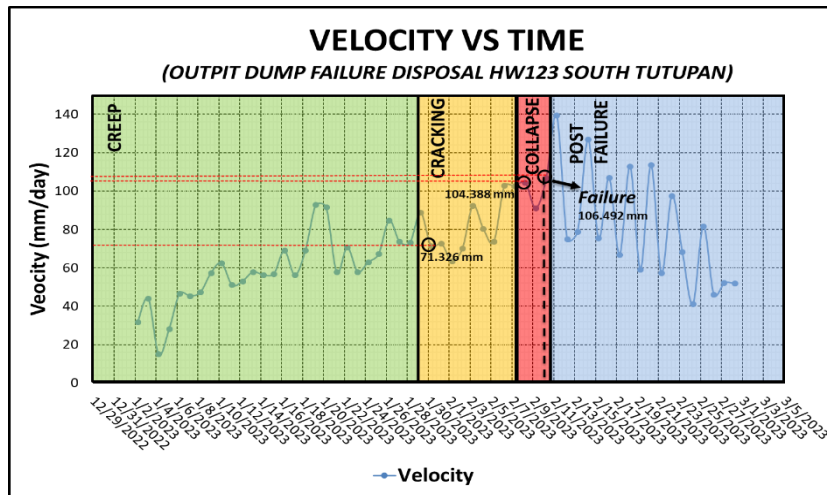
Berdasarkan grafik pada **Gambar 1**, terjadi kenaikan pergerakan seiring berjalannya waktu. Alarm mendeteksi pergerakan *linier* (*Primary Stage*) terjadi dari mulai pengambilan data sampai pada tanggal 29 Januari 2023, pola pergerakan *regresif* (*Secondary Stage*) terindikasi dari rentang tanggal 30 Januari – 7 Februari 2023, pola pergerakan *progresif* (*Tertiary Stage*) terindikasi dari rentang 8 – 10 Februari 2023. Pola pergerakan *regresif* mengalami perpindahan 1,517 m dan pola pergerakan *progresif* mengalami perpindahan 2,279 m.

Berdasarkan grafik pada **Gambar 2**, terdapat empat kategori kondisi kestabilan lereng yang terekam dari pengambilan data GPS yaitu *Creep*, *Cracking and Dislocation*, *Collapse*, dan *Post Failure*. Seperti halnya kurva deformasi, kurva kecepatan juga menunjukkan nilai kecepatan yang berbeda untuk setiap perubahan kondisi kestabilan lereng. Untuk kondisi kestabilan lereng pada fase *cracking* dimulai dari nilai kecepatan 71,326 mm/hari dan fase *collapse* dimulai dari nilai kecepatan 104,388 mm/hari.

2. Penentuan Nilai *Trigger Level* dan TARP (*Trigger Action Response Plan*)

Dari grafik kecepatan masing-masing alat monitoring GPS maka akan dilakukan perhitungan rata-rata kecepatan untuk mengkategorikan kondisi kestabilan lereng. Berikut deteksi alarm pada kondisi kestabilan lereng.

Alarm Kuning terdeteksi	: 30 Januari 2023
Alarm Orange terdeteksi	: 8 Februari 2023
Alarm Merah terdeteksi	: 10 Februari 2023



Gambar 2. Grafik Velocity vs Time

Tabel 1. Trigger Level pada setiap kondisi Pergerakan Lereng

ITEM	Kecepatan pada Kondisi stabil (mm/day)	Kecepatan pada Kondisi Hati-Hati (mm/day)	Kecepatan pada Kondisi Waspada (mm/day)	Kecepatan pada Kondisi Evakuasi (mm/day)
GPS G21	57.467	80.934	97.693	106.492
GPS G73	66.738	105.244	130.565	143.911
GPS G76	55.587	88.788	116.522	119.74
Rata-Rata	59.931	91.655	114.927	123.381

Berdasarkan Tabel 1, trigger level pada kondisi stabil berada pada kecepatan 59,931 mm/hari, pada kondisi hati-hati berada pada kecepatan 91,655 mm/hari, kondisi waspada berada pada kecepatan 114,927 mm/hari, serta kondisi evakuasi berada pada kecepatan 123,381 mm/hari.

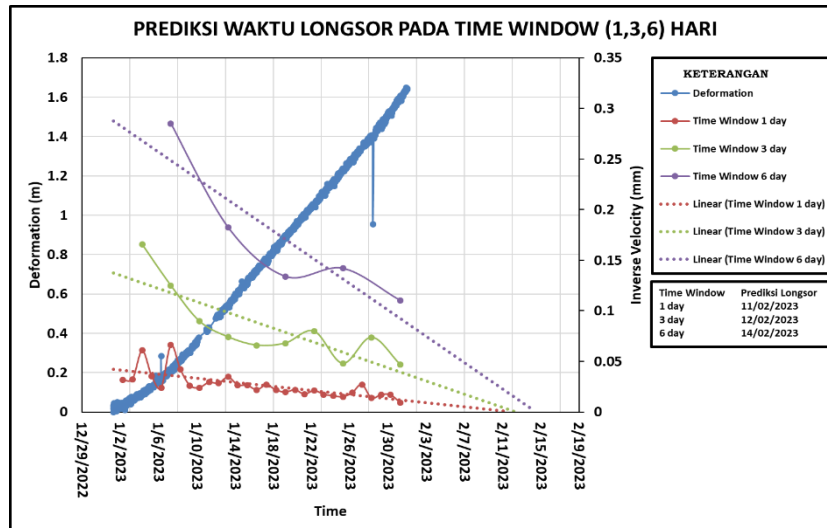
Tabel 2. Pengaplikasian TARP (Trigger Action Response Plan)

ITEM	Kondisi Hijau TARP Trigger 1 (Aman)	Kondisi Kuning TARP Trigger 2 (Hati-Hati)	Kondisi Orange TARP Trigger 3 (Waspada)	Kondisi Merah TARP Trigger 4 (Evakuasi)
Status	Kondisi Aman untuk melakukan aktivitas penambangan	Kondisi masih aman untuk bekerja namun dilakukan pengawasan	Kondisi waspada dalam bekerja dan dilakukan pengawasan intensif	Kondisi bahaya dalam bekerja dan segera dilakukan evakuasi area
Kecepatan Rata-Rata	< 55 mm	55 mm-90 mm	90 mm-110 mm	> 110 mm
Tindakan yang diperlukan	Pengawasan dan aktifitas operasional normal	Intensitas pengawasan ditingkatkan dengan pengecekan rutin secara berkala	Pengawasan melekat pada aktifitas operasional	Penghentian segera aktifitas operasional. Lakukan proses evakuasi

Berdasarkan Tabel 2, maka dilakukan pembulatan kecepatan deformasi pada setiap kondisi kestabilan lereng. Kondisi aman pada kecepatan < 55 mm, kondisi hati-hati pada kecepatan 55 mm-90 mm, kondisi waspada pada kecepatan 90 mm-110 mm, serta kondisi waspada berada pada kecepatan > 110 mm.

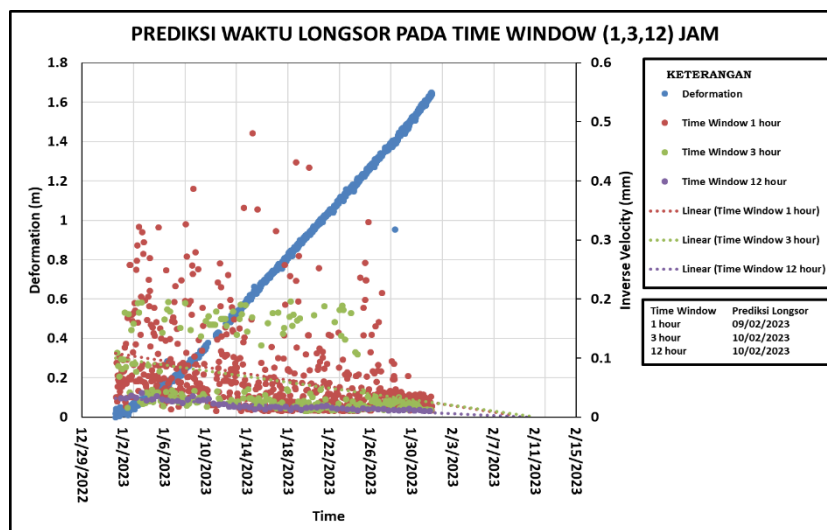
3.2. Prediksi waktu longsor dengan berbagai *time window*

Analisis dilakukan pada data yang terekam oleh alat GPS dengan *time window* yang digunakan oleh perusahaan yaitu 1 hari, 3 hari, dan 6 hari. Dari data deformasi yang dihitung melalui koordinat XYZ, didapatkan nilai *velocity* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan pergerakan lereng. Selanjutnya dari kecepatan pergerakan lereng dapat diketahui nilai *inverse velocity* yang berguna untuk menentukan waktu prediksi longsor.



Gambar 3. Grafik Prediksi Waktu Longsor dengan *Time Window* (1,3,6) Hari

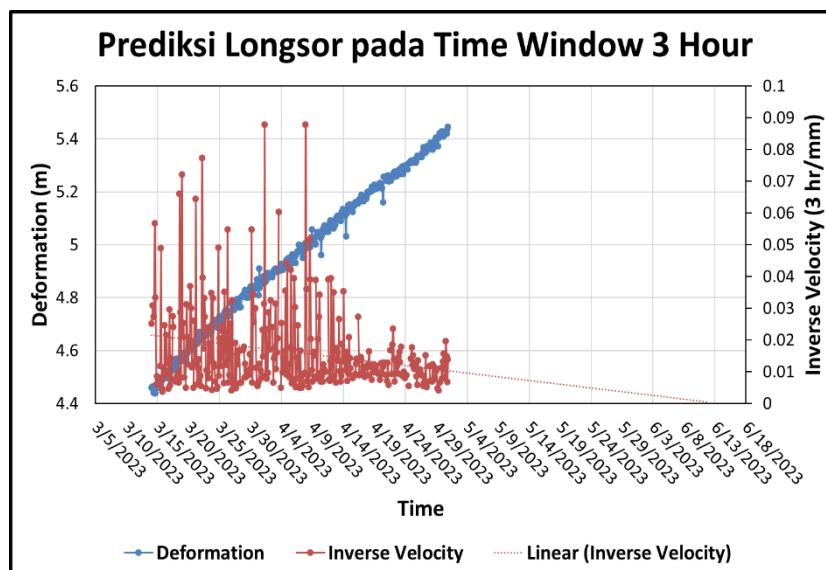
Dari hasil prediksi longsor melalui *time window* (1,3,6) hari diketahui bahwa prediksi longsor dengan *time window* 1 hari terjadi pada 11 Februari, *time window* 3 hari terjadi pada 12 Februari dan *time window* 6 hari terjadi pada 14 Februari. Dari hasil analisis prediksi longsor dengan *time window* (1,3,6) hari, maka tidak ada yang sesuai dengan kejadian aktual.



Gambar 4. Grafik Prediksi Waktu Longsor dengan *Time Window* (1,3,12) Jam

Dari hasil prediksi longsor setiap *time window* yang digunakan maka *time window* yang memungkinkan untuk digunakan sehingga dapat melakukan pencegahan hingga evakuasi sebelum terjadi longsor adalah *time window* 3 jam.

3.3. Prediksi waktu longsor yang akan datang dengan *time window* 3 jam



Gambar 5. Grafik Prediksi Waktu Longsor dengan *Time Window* 3 Jam

Data deformasi diambil dari tanggal 14 maret – 30 april. Dari data tersebut didapatkan nilai *velocity* yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai *inverse velocity* yang mana akan ditarik garis *trendline* sampai titik 0, dan disitulah waktu prediksi longsor akan terjadi. Dari hasil yang didapatkan, maka perkiraan waktu longornya terjadi pada tanggal 12 Juni 2023.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini yaitu

1. Dilakukan penentuan nilai *trigger level* dari kecepatan rata-rata berdasarkan kondisi kestabilan lereng. Selanjutnya dari nilai *trigger level* ditentukan yang mana kondisi aman berada pada kecepatan < 55 mm, kondisi hati-hati berada pada kecepatan 55 mm – 90 mm, kondisi wasapada berada pada kecepatan 90 mm – 110 mm, dan kondisi bahaya berada pada kecepatan > 110 mm.
2. Dari hasil analisis yang didapat maka prediksi longsor dengan *time window* (1,3,6) hari terjadi pada tanggal 11 Februari, 12 Februari, 14 Februari, sedangkan *time window* (1, 3, 12) jam terjadi pada tanggal 9 Februari, 10 Februari, 10 Februari. Untuk itu *time window* yang dapat digunakan oleh perusahaan yang sesuai secara aktual dan memberikan waktu mitigasi sebelum terjadinya longsor yaitu *time window* 3 jam.
3. Prediksi longsor menggunakan *time window* 3 jam dengan data yang diambil dari 14 maret-30 april yaitu data (deformasi, dilakukan perhitungan kecepatan, hingga didapat nilai *inverse velocity*). Selanjutnya dilakukan proses *trendline* yang berfungsi menarik garis sampai ke titik 0. Setelah *trendline* sampai ke titik 0, maka dilihat waktunya yang merupakan waktu prediksi kejadian. Sehingga dapat disimpulkan bahwa prediksi longsor terjadi pada perkiraan tanggal 12 juni 2023.

Referensi

- Amitrano, D., & Helmstetter, A. (2006). Brittle creep, damage, and time to failure in rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(11), 1–17. <https://doi.org/10.1029/2005JB004252>
- Broadbent C.D., dan 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. (1985). *A New Method for Predicting the Failure Time of a Slope*. 145–150.
- Gultom, J., Sannang, M. A., & Musa, R. H. (2014). *Prediksi Waktu Longsoran Di Lereng Highwall Tambang Batubara Terbuka Dengan Metode Inverse Velocity*.

-
- Munthaha, Z. I., Yogiristanto, K., & Tronics, A. (2022). *Penentuan Kondisi Kestabilan Timbunan Pit Menggunakan Prisma Berdasarkan Nilai Ambang Batas Laju Pergerakan Relatif Hasil Uji Balik*. 155–164.
- Steven, Sari, F. A., Anggraeni, W., & Nasrullah, M. I. (2020). Manajemen Risiko Kegagalan Lereng Pada Tambang Emas Menggunakan Teknologi Slope Stability Radar. *Prosiding Tpt Xxix Perhapi, Geoteknik*, 85–94.
- Sullivan, T 2007, Hydromechanical Coupling and Pit Slope Movements, in Y Potvin (ed.), *Proceedings of the 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 3–43.
-