



Analisis *Subsidence* dan Kestabilan Lereng Disposal pada Area Sump Batutegi di Site North Tutupan, PT Adaro Indonesia

Fanteri Aji Dharma Suparno*, Muhammad Thoriq Maulana, Haeruddin

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Indonesia

Abstrak

PT Adaro Indonesia merupakan sebuah perusahaan tambang batubara dengan target produksi yang besar dan terus meningkat. Pertumbuhan produksi ini menghasilkan peningkatan volume tanah penutup yang harus dibongkar dan ditimbun. Namun, masalah yang dihadapi adalah keberadaan lumpur dalam jumlah besar di lapisan dasar *disposal*, yang dapat menyebabkan penurunan muka tanah pada area disposal tersebut. Penelitian ini bertujuan menganalisis *subsidence* yang terjadi pada disposal di area *Sump Batutegi* dan pengaruhnya terhadap faktor keamanan *disposal*. Analisis dilakukan dengan Metode Kesetimbangan Batas berupa Metode Bishop dan Janbu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *subsidence* rata-rata sekitar 2,34 cm, dengan faktor keamanan sebelum *subsidence* berkisar antara 1,78984 hingga 1,81830, bergantung pada metode yang digunakan. Setelah *subsidence*, faktor keamanan mengalami penurunan tetapi tidak signifikan. Dari ketiga metode, pengaruh *subsidence* terhadap faktor keamanan pada disposal berkisar antara 35,52% hingga 38,38%. Selain itu, *trendline* menunjukkan bahwa semakin besar *subsidence*, maka faktor keamanan akan semakin kecil.

Kata kunci: uji kompresi tanpa batas; penurunan muka tanah; kestabilan lereng

Abstract

Abstract is written in English, maximum 200 words, italic, single space and write in one paragraph. PT Adaro Indonesia is a coal mining company with a large and growing production target. This production growth results in an increase in the volume of overburden that must be removed and stockpiled. However, the problem faced is the presence of large amounts of mud in the bottom layer of the disposal, which can cause land subsidence in the disposal area. This study aims to analyze the subsidence that occurs in the disposal area of Sump Batutegi and its impact on disposal safety factors. The analysis was conducted using the Limit Equilibrium Methods of Bishop and Janbu. The results showed that the average subsidence was about 2.34 cm, with the factor of safety before subsidence ranging from 1,78984 to 1,81830, depending on the method used. After subsidence, the factor of safety decreased but not significantly. Across the three methods, the effect of subsidence on the factor of safety of the disposal ranged from 35,52% to 38,38%. In addition, it shows that the greater the subsidence, the smaller the factor of safety.

Keywords: *unconfined compression test; land subsidence; slope stability*

PENDAHULUAN

PT Adaro Indonesia merupakan salah satu perusahaan Perjanjian Karya Pengusahaan Penambangan Batubara (PKP2B) dengan target produksi yang besar dan terus meningkat setiap tahunnya. Target produksi yang besar membuat tanah penutup (*overburden*) yang perlu dibongkar jumlahnya semakin besar juga. Sehingga, perlu disediakan tempat penimbunan atau yang biasa

disebut *disposal*. Menurut (Nurahma dkk., 2022), pembuatan *disposal* harus direncanakan dengan baik sehingga bisa menyesuaikan dengan target dan tentunya harus aman. Kestabilan *disposal* menjadi faktor penting karena berhubungan langsung dengan keselamatan pekerja, keamanan alat, dan kelancaran.

Sepriadi & Yuliana (2019) juga berpendapat bahwa penentuan lokasi *disposal* perlu

* Korespondensi : fanteri.teknik@unej.ac.id

Diajukan : 24 Juni 2025

Diterima : 22 Agustus 2025

Diterbitkan : 15 Desember 2025

diperhatikan agar tidak mengganggu proses eksplorasi pada saat sekarang hingga akhir tambang. Untuk luasan *disposal* dirancang sesuai dengan jumlah *overburden* yang akan digali setiap bulannya. *Disposal* biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan. Ketika lubang tersebut telah penuh, maka permukaan dari *disposal* ini akan ditutupi dengan lapisan *overburden* dan *top soil* untuk dijadikan daerah penghijauan. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor, 1827 K/30/MEM 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik, *disposal* harus dibangun di tempat atau area tambang yang tidak terdapat cadangan ekonomisnya, bekas area pertambangan yang sudah habis cadangannya (*in-pit disposal*) atau membuat *disposal* baru di luar area pit (*out-pit disposal*).

Perkasa dkk., (2024) memaparkan bahwa kajian geoteknik yang matang diperlukan untuk menghindari terjadinya longsoran di masa yang akan datang. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng serta penanganan yang maksimal terhadap longsoran yang telah terjadi, maka dapat menyebabkan kerugian seperti kegiatan penambangan yang terganggu, biaya yang akan dikeluarkan untuk membersihkan longsoran, bahkan bisa menyebabkan kerugian korban.

Menurut (Ikram & Pratiknyo, 2024), penelitian terhadap kemampuan suatu lereng harus dilakukan bila longsoran lereng yang terjadi dapat menimbulkan akibat yang merusak dan mengancam keselamatan. Kestabilan lereng bergantung pada gaya penggerak dan penahan yang ada pada lereng tersebut. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut bisa dibilang dalam keadaan mantap. Untuk mengetahui seberapa kuat gaya penahan maupun gaya penggerak dari material penyusun lereng, salah satu caranya menggunakan uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) dan memadukannya dengan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*) yang telah banyak dipakai di beberapa perusahaan (Siregar dkk., 2021).

Menurut Anggraini & Saleh (2021), uji kuat tekan bebas atau UCT (*Unconfined Compression Test*) dapat digunakan untuk mengukur seberapa besar kuat dukung tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya dan juga regangan tanah akibat tekanan tersebut. Salah satu masalah yang

terdapat pada *Disposal* Area *Sump* Batutegi di *Site North* Tutupan PT Adaro Indonesia adalah terdapatnya lumpur (*mud*) dalam jumlah besar pada lapisan dasar *disposal* karena area ini merupakan area bekas *sump*. Semakin banyak lumpur yang ada di area dasar *disposal* dikhawatirkan akan semakin besar potensi kelongsoran, karena lumpur dapat berperan sebagai bidang gelincir yang dapat menyebabkan *disposal* mudah longsor (Rezky & Zulkarnaen, 2023). Selain itu, *disposal* yang ditimbun di atas area dasar berupa lumpur, apabila mendapat pembebanan yang berlebih, akan mengalami penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang dapat menyebabkan terganggunya kestabilan *disposal*.

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya. Penurunan muka tanah ini diakibatkan oleh banyak hal seperti pembebanan di atas permukaan, hilangnya air tanah akibat eksplorasi berlebihan, gempa yang mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidakstabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Penurunan muka tanah ini secara tidak langsung merupakan pemakaian memadatkan struktur tanah yang belum padat menjadi padat. Umumnya hal ini terjadi pada daerah yang tadinya berupa rawa, delta, endapan banjir dan sebagainya yang dialihkanfungsikan tataguna lahannya tanpa melakukan rekayasa tanah terlebih dahulu (Haris, 2018).

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah analisis mengenai *subsidence* yang terjadi pada *disposal* di area *Sump* Batutegi dan pengaruhnya terhadap faktor keamanan *disposal*. Dalam penelitian ini, *subsidence* diasumsikan menggunakan suatu pendekatan, yaitu uji kuat tekan (*Unconfined Compression Test*) di laboratorium geoteknik PT Adaro Indonesia. Pendekatan ini belum dilakukan di penelitian lainnya. Pendekatan ini digunakan karena sulitnya mengetahui penurunan muka tanah (*land subsidence*) apabila *disposal* masih belum selesai. Setelah kondisi *subsidence* diketahui, akan dilakukan analisis kestabilan *disposal* tersebut menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) berupa Metode Bishop dan Janbu.

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan yaitu pengukuran *subsidence* pada *disposal* dengan pendekatan berupa uji kuat tekan (*Unconfined Compression Test*) menggunakan *Universal Testing Machine* di laboratorium (Gambar 5). Uji kuat tekan dilakukan menggunakan sampel tanah penutup dan lumpur yang didapatkan dari lokasi penelitian. Hasil uji ini digunakan untuk mengasumsikan *subsidence* yang terjadi pada *Disposal Area Sump* Batutegi. Data ini merupakan data primer. Selain data uji kuat tekan, peta topografi, desain pit, dan sifat material seperti berat jenis, sudut geser dalam, dan tipe batuan juga diperlukan untuk membuat pemodelan pada *disposal* sebagai bentuk realisasi dalam menganalisis *subsidence* yang terjadi dan pengaruhnya terhadap kestabilan di *disposal* area *Sump* Batutegi. Data sifat material diperoleh dari uji lab yang dilakukan tersendiri oleh tim Geoteknik PT Adaro Indonesia. Analisis data dilakukan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) berupa Metode Bishop dan Janbu pada *Software Slide* (Firincioglu & Ercanoglu, 2021).

Uji kuat tekan merupakan salah satu metode pengujian material untuk menentukan daya tahan atau kekuatan material terhadap beban tekan. *Universal Testing Machine*, juga dikenal sebagai mesin uji material atau mesin uji tarik-tekan, adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan berbagai jenis uji mekanik pada berbagai jenis material, termasuk uji kuat tekan (Gambar 1). Pada penelitian ini, uji kuat tekan menggunakan *Universal Testing Machine* untuk mengasumsikan *land subsidence* yang terjadi di lokasi penelitian.

Uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* dilakukan sebanyak 6 kali percobaan dengan komposisi tanah penutup (*overburden*) dan lumpur (*mud*) masing-masing sebanyak 1 kg. Komposisi pada tanah penutup dan lumpur diatur dalam satuan berat dan tidak dalam satuan tinggi dikarenakan wadah yang digunakan pada saat uji kuat tekan merupakan sebuah *compaction mold* berbentuk tabung yang tidak tembus pandang. Setelah sampel tanah penutup dan lumpur disiapkan pada wadah terpisah, lumpur dimasukkan terlebih dahulu ke dalam *mold* dan dilakukan pengukuran. Setelah lumpur diukur, tanah dimasukkan di atas lumpur dalam *mold* dan dilakukan pengukuran juga (Gambar 2).

Rumus yang digunakan untuk pengujian kuat tekan bebas adalah sebagai berikut:

Regangan aksial (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (1)$$

Tegangan normal rata-rata (σ_r)

$$\sigma_r = \frac{P}{A_o} \quad (2)$$

Luas penampang benda uji rata-rata/terkoreksi (A_r)

$$A_r = \frac{A_o}{1-e} \quad (3)$$

dengan:

ϵ = regangan aksial (%)

ΔL = deformasi (cm)

σ_r = tegangan normal rata-rata (kg/cm^2)

P = beban (kg)

A_r = luas penampang rata-rata (cm^2)

A_o = luas penampang semula (cm^2)

L_o = tinggi benda uji semula (cm)

N = pembacaan dial beban (div)

Pa = beban normal (kg)



Gambar 1. *Universal Testing Machine*



Gambar 2. (a) Sampel lumpur dalam *mold*; (b) Sampel tanah dan lumpur dalam *mold*.

Sebelum ditutup, bagian atas dan bawah sampel diberi kertas saring agar sampel tidak berserakan pada saat proses uji kuat tekan. Sampel tanah dan lumpur yang telah dimasukkan ke dalam *compaction mold* kemudian ditutup dan diletakkan pada *Universal Testing Machine* untuk dilakukan uji kuat tekan. *Piston* harus berada pada posisi tengah *mold* agar pembebahan yang diberikan terjadi secara merata dan maksimal (Gambar 3).

Selama uji kuat tekan terjadi, pembebahan berlangsung secara berkala. Kecepatan penekanan dapat diatur secara manual. Besarnya pembebahan dan perubahan ketinggian yang diterima oleh sampel dapat diamati melalui komputer yang terhubung oleh *Universal Testing Machine*. Saat pembebahan mencapai besaran yang telah ditentukan, dalam penelitian ini sebesar 1,28 kN, uji kuat tekan dapat dihentikan. Pengukuran pada sampel dilakukan setelah uji kuat tekan selesai.

Metode LEM dalam penelitian ini menggunakan metode Bishop dan Janbu. Metode Bishop memperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan (Bishop, 1966). Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran (*circular*) (Gambar 4). (Arif, 2016) menjelaskan melalui bukunya bahwa dalam metode ini diasumsikan gaya-gaya normal bekerja di pusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan rumus yang digunakan adalah:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n-p} (C' b_n + w_n \tan \phi') \frac{1}{m_{a(n)}}}{\sum_{n=1}^{n-p} w_n \sin \alpha_n} \quad (4)$$

$$M_{a(n)} = \text{Cosa}_n + \frac{\tan \phi' \sin \alpha_n}{F_s} \quad (5)$$

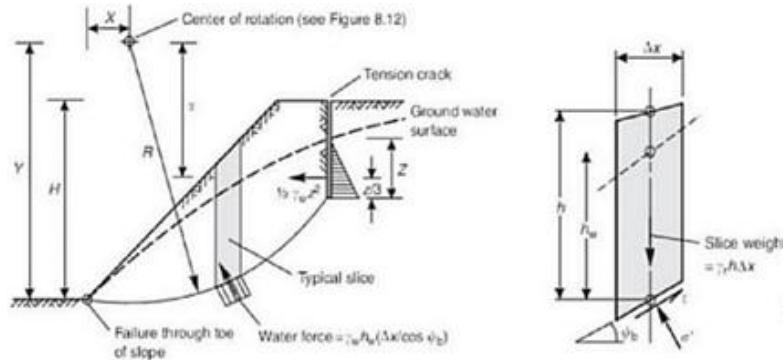
dengan:

- FS = Angka keamanan Metode Bishop
C' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
b_n = Lebar irisan ke-n (m)
w_n = Berat irisan ke-n (kN)
φ' = Sudut geser tanah (°)

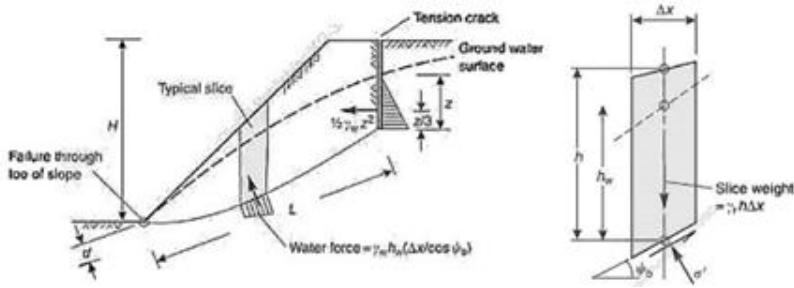
Metode Janbu menganalisis permukaan bidang gelincir busur lingkaran (*circular*) maupun tidak (*non-circular*) (Janbu, 1973) ditunjukkan pada Gambar 5. Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan horizontal pada dasar tiap-tiap irisan dengan memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya. (Ikram & Pratiknyo, 2024) menjelaskan melalui penelitiannya bahwa metode ini memiliki asumsi yang sama dengan metode Bishop yang



Gambar 3. Uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine*



Gambar 4. Metode Bishop (Arif, 2016)



Gambar 5. Metode Janbu (Arif, 2016)

mengasumsikan bahwa gaya normal antar irisan diperhitungkan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan atau bernilai nol. Perbedaan antara Metode Bishop sederhana dan Metode Janbu sederhana terletak pada penurunan angka faktor keamanan. Bishop menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan vertikal sedangkan Janbu menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan horizontal.

Persamaan rumus yang digunakan adalah:

$$FS = \frac{f_o \sum W_j (1-r_u) m_j \tan \phi' j \cos \theta_j}{\sum W_j \tan \theta_j} \quad (6)$$

dengan:

FS = Angka keamanan Metode Janbu
 C' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
 m_n = Lebar irisan ke-n (m)
 w_n = Berat irisan ke-n (kN)
 φ' = Sudut geser tanah (°)

PEMBAHASAN

Uji Kuat Tekan pada *Universal Testing Machine*

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan proses konsolidasi satu dimensi yang melibatkan banyak parameter sebagai penyebabnya. Penyebab utama *land subsidence* adalah aktivitas manusia dan faktor alami, yang mana dalam penelitian ini berupa adanya lumpur yang menjadi permukaan dasar dari *disposal* di pertambangan *open pit* (Haris, 2018). Seperti

yang tertera pada Tabel 2, hasil pengukuran sampel dari uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* diasumsikan sebagai seberapa besar *land subsidence* yang terjadi di *Disposal WDNW Site North* Tutupan area *Sump Batutegi*. Hasil ini didapatkan dari pengukuran ketinggian sampel tanah penutup, lumpur, dan total dari kedua sampel tersebut.

Sifat Material

Sifat material pada analisis kestabilan lereng merujuk pada karakteristik fisik dan mekanik dari material tanah atau batuan yang membentuk lereng. Dalam penelitian ini, sifat material yang digunakan berupa sifat mekanik dari setiap material Tabel 1. Sifat material untuk material batuan dasar (*base rock*) menggunakan parameter Generalized Hoek-Brown, material tanah

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan pada *Universal Testing Machine*

Sampel	L ₀ (cm)	L ₁ (cm)	ΔL (cm)
Test1	8,2	4,9	3,3
Test2	8,5	6,3	2,2
Test3	8	4,8	3,2
Test4	8	5,5	2,5
Test5	8	6,45	1,55
Test6	7,7	6,43	1,27
Rata-rata	8,1	5,73	2,34

Tabel 1. Sifat Material *Disposal Sump Batutegi*

Sifat	Jenis Material		
	<i>Base Rock</i>	<i>Overburden</i>	<i>OB mix Mud</i>
Berat Jenis (kN/m ³)	24,9	18	17
Tipe Perkuatan	<i>Generalized Hoek-Brown</i>	Mohr-Coulomb	<i>Undrained</i>
Kohesi (kPa)	-	56,6	30
Sudut Geser Dalam (°)	-	15	-
Tipe Kohesi	-	-	Konstan
UCS (kPa)	2000	-	-
m _b	2,05511	-	-
s	0,035674	-	-
a	0,501355	-	-

penutup (*overburden*) menggunakan parameter Mohr-Coulomb, dan untuk material campuran tanah dan lumpur (*overburden mix mud*) diidentifikasi menggunakan parameter *Undrained* (jenuh). Sifat ketiga material ini digunakan untuk mendefinisikan jenis material pada saat pemodelan *disposal* di Slide.

Pemodelan *Disposal*

Pemodelan untuk *Disposal Sump* Batutegi dilakukan sebagai langkah awal dalam melakukan analisis kestabilan *disposal*. Setelah dilakukan pembuatan garis penampang (*cross section*) melalui *Software Minescape*, hasil dari penampang tersebut kemudian diolah menggunakan Slide. Pada Slide, pemodelan dilakukan dengan merepresentasikan kondisi *disposal* dan struktur litologinya seperti pada Gambar 6.

Dalam pemodelan *disposal* di atas, struktur litologi pada keseluruhan bagian *in-situ* disamaratakan. Hal ini dilakukan karena pembentukan *disposal* tidak berfokus kepada optimalisasi nilai ekonomi. Berbeda dengan pembentukan *pit*, *disposal* tambang berkaitan dengan pengelolaan limbah dan material buangan dari operasi penambangan, sehingga pembuatan *disposal* lebih berfokus kepada efisiensi dan kapasitas *disposal* itu sendiri. Pada bagian muka air tanah diasumsikan berada pada permukaan lumpur.

Hasil Uji *Subsidence*

Metode Bishop

Sesuai dengan hasil uji *subsidence* yang dilakukan di laboratorium (Tabel 2), melalui Metode Bishop didapatkan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi seperti yang ditampilkan pada Tabel 3. Dapat dilihat dari garis penampang B-B', faktor keamanan *disposal* mengalami

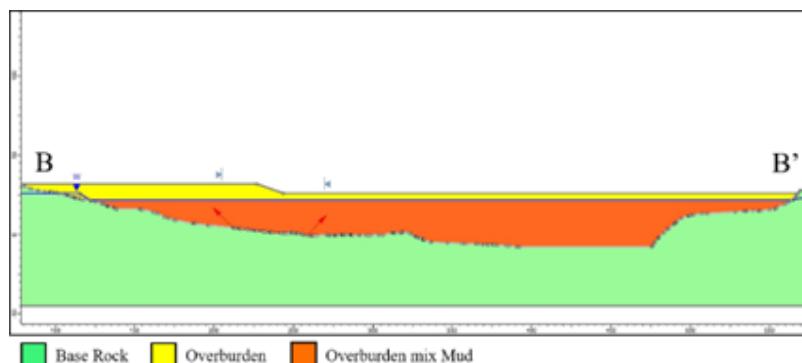
perubahan setelah *subsidence* terjadi, yang dimana cenderung mengalami penurunan meskipun tidak signifikan.

Berdasarkan penggunaan Metode Bishop untuk mengetahui faktor keamanan *Disposal Area Sump* Batutegi, pada garis penampang B-B' didapatkan faktor keamanan sebelum terjadi *subsidence* sebesar 1,79050. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 1,79022. Berdasarkan garis penampang B-B' (Gambar 6), penurunannya tidak terjadi secara signifikan karena *subsidence* yang terjadi tidak besar. Selain itu, faktor keamanan yang dihasilkan dari garis penampang B-B' tersebut dapat dikatakan aman karena $FK \geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018. Didapatkan juga analisis mengenai pengaruh *subsidence* yang didapatkan terhadap faktor keamanan *disposal* menggunakan uji regresi linear sederhana pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil uji regresi linear sederhana pada Gambar 7, didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) pada garis penampang B-B' menggunakan Metode Bishop, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan di laboratorium memiliki kontribusi sebesar 35,52% dalam perubahan kestabilan *Disposal Area Sump* Batutegi. Hal ini menunjukkan bahwa *subsidence* yang didapatkan menggunakan pendekatan uji kuat tekan hanya

Tabel 3. Kestabilan *Disposal* Metode Bishop

Sampel	Penampang B-B'	
	Sebelum	Sesudah
Test1	1,79050	1,78984
Test2	1,79050	1,79068
Test3	1,79050	1,79005
Test4	1,79050	1,79018
Test5	1,79050	1,79031
Test6	1,79050	1,79028
Rata-rata	1,79050	1,79022



Gambar 6. Model garis penampang B-B'

mewakili sekitar 35,52% dari keseluruhan faktor yang memengaruhi perubahan kestabilan *disposal* di area *Sump* Batutegi saat menggunakan Metode Bishop. Melalui *trendline* pada metode Bishop, garis penampang B-B' menunjukkan *trend* turun yang signifikan. Selanjutnya, melalui koefisien korelasi (*r*) pada garis penampang B-B' menggunakan Metode Bishop, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 59,6% dengan kestabilan *disposal* pada area *Sump* Batutegi.

Metode Janbu

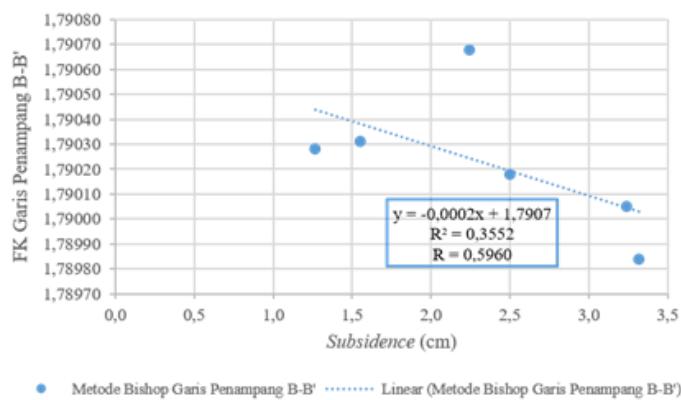
Sama halnya dengan Metode Bishop, sesuai dengan hasil uji *subsidence* yang dilakukan, didapatkan kestabilan *Disposal* Area *Sump* Batutegi seperti yang ditampilkan pada Tabel 4 untuk Metode Janbu. Dapat dilihat dari garis penampang B-B', faktor keamanan *disposal* mengalami perubahan setelah *subsidence* terjadi, yang dimana pada metode ini juga cenderung mengalami penurunan.

Berdasarkan penggunaan Metode Janbu untuk mengetahui faktor keamanan *Disposal* Area

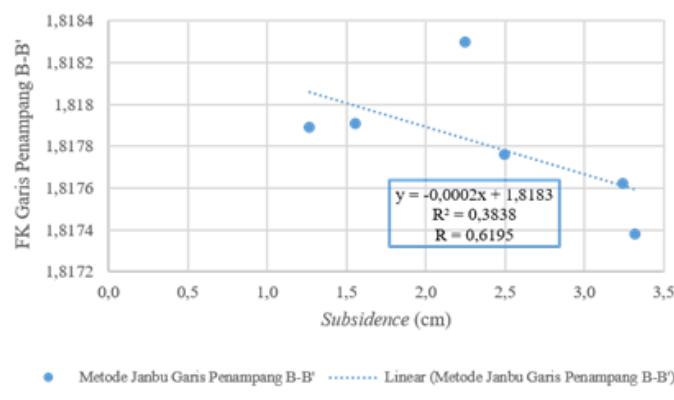
Sump Batutegi, pada garis penampang B-B' didapatkan faktor keamanan sebelum *subsidence* terjadi sebesar 1,81814. Setelah *subsidence* terjadi, faktor keamanannya berubah dengan rata-rata 1,81781. Dilihat dari garis penampang tersebut, penurunannya tidak terjadi secara signifikan karena *subsidence* yang terjadi tidak besar. Selain itu, faktor keamanan yang dihasilkan dari kedua garis penampang tersebut dapat dikatakan aman karena *FK* $\geq 1,2$ sesuai Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM 2018. Selanjutnya, analisis dilakukan mengenai pengaruh *subsidence* yang didapatkan terhadap faktor keamanan *disposal* menggunakan uji regresi linear sederhana pada Gambar 8.

Tabel 4. Kestabilan *Disposal* Metode Janbu

Sampel	Penampang B-B'	
	Sebelum	Sesudah
Test1	1,81814	1,81738
Test2	1,81814	1,81830
Test3	1,81814	1,81762
Test4	1,81814	1,81776
Test5	1,81814	1,81791
Test6	1,81814	1,81789
Rata-rata	1,81814	1,81781



Gambar 7. Hubungan *subsidence* dengan faktor keamanan Metode Bishop garis penampang B-B'



Gambar 8. Hubungan *subsidence* dengan faktor keamanan Metode Janbu garis penampang B-B'

Berdasarkan Gambar 8 didapatkan bahwa koefisien determinasi (R^2) pada garis penampang B-B' menggunakan Metode Janbu, *subsidence* total yang didapatkan melalui pendekatan uji kuat tekan di laboratorium memiliki kontribusi sebesar 38,38%. Hal ini menunjukkan bahwa *subsidence* yang didapatkan menggunakan pendekatan uji kuat tekan hanya mewakili sekitar 38,38% dari keseluruhan faktor yang memengaruhi perubahan kestabilan *disposal* di area *Sump* Batutegi saat menggunakan Metode Janbu. *Trendline* pada garis penampang B-B' menggunakan Metode Janbu menunjukkan *trend* turun yang signifikan. Selanjutnya, melalui koefisien korelasi (r) pada garis penampang B-B' menggunakan Metode Janbu, *subsidence* total yang didapatkan melalui uji kuat tekan memiliki korelasi sebesar 61,95% dengan kestabilan *disposal* pada area *Sump* Batutegi.

Koefisien Determinasi dan Korelasi

Setelah dilakukan uji regresi linier melalui tiap metode antara *subsidence* dan faktor keamanan pada *disposal* di area *Sump* Batutegi, didapatkan koefisien determinasi dan koefisien korelasi (Tabel 5) dari kedua metode tersebut. Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar *subsidence* memengaruhi faktor keamanan dari *disposal*. Sedangkan, koefisien korelasi menunjukkan seberapa besar hubungan linier variabel bebas yang diteliti terhadap variabel terikat.

Dalam penggunaan Metode Bishop dan Janbu, didapatkan angka melalui koefisien determinasi pada garis penampang B-B' yang menunjukkan bahwa pengaruh *subsidence* yang didapat menggunakan pendekatan uji kuat tekan terhadap faktor keamanan *disposal* masih rendah. Sehingga, diperlukan kajian lebih lanjut dalam penggunaan uji kuat tekan dalam mengetahui *subsidence* yang terjadi pada *disposal* di area *Sump* Batutegi. Selanjutnya, sama halnya dengan koefisien determinasi yang dibahas sebelumnya, berdasarkan koefisien korelasi yang dihasilkan melalui regresi linier sederhana (Tabel 5), dapat disimpulkan bahwa semakin besar *subsidence* yang terjadi, maka semakin kecil faktor keamanan yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa melalui pendekatan uji kuat tekan pada *Universal Testing Machine* untuk

Tabel 5. Koefisien Determinasi (R^2) dan Korelasi (r) antara *Subsidence* dan Faktor Keamanan

Bishop		Janbu	
R^2	R	R^2	R
0,3552	0,5960	0,3838	0,6195

mengasumsikan *land subsidence* yang terjadi di *disposal* area *Sump* Batutegi, didapatkan *subsidence* total berada pada rentang 1,27 – 3,3 cm. *Disposal* pada area *Sump* Batutegi dapat dikatakan aman sesuai Kepmen ESDM No. 1827K/ 30/ MEM/ 2018 karena nilai faktor keamanan *disposal* sebelum maupun sesudah *subsidence* terjadi dengan Metode Bishop dan Janbu $\geq 1,2$. Faktor pengaruh perubahan kestabilan *disposal* dengan Metode Bishop dan Janbu masing-masing sekitar 35,52% sampai 38,38% sehingga semakin besar *subsidence* yang terjadi maka semakin kecil faktor keamanan pada kestabilan *disposal* area *Sump* Batutegi. Rekomendasi yang bisa diberikan diantaranya validasi *subsidence* harus dilakukan lebih awal pada sampel batuan di area *pit* aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Geotechnical Section, PT Adaro Indonesia atas bantuan data. Terima kasih juga untuk para akademisi Teknik Pertambangan Universitas Jember karena telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, M., & Saleh, A. (2021). Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Semen Terhadap Kuat Tekan Bebas. *SAINSTEK*, 9(2), 108–115.
- Arif, I.I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Bishop, A. W. (1966). The strength of soils as engineering materials. *Geotechnique*, 16(2), 91–130.
- Firincioglu, B.S., & Ercanoglu, M. (2021). Insights and perspectives into the limit equilibrium method from 2D and 3D analyses. *Engineering Geology*, 281, 105968. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105968>
- Haris, N.A. (2018). Prediksi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (Dinsar) Di Kota Makassar Indonesia. *Jurnal Environmental Science*, 1(1), 27–31. DOI: <https://doi.org/10.35580/jes.v1i1.7348>

- Ikram, A.W., & Pratiknyo, P. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Disposal Rencana Kerja Desa Tegal Rejo, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 11(1), 39–46. DOI: <https://doi.org/10.31315/jigp.v11i1.12548>
- Janbu, N. (1973). Slope stability computations. *Publication of: Wiley (John) and Sons, Incorporated.*
- Kementerian ESDM. (2018) Kepmen ESDM No 1827K/ 30/ MEM/ 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Nurahma, A.P., Nurhakim, N., & Hakim, R.N. (2022). Analisis kestabilan lereng desain Disposal WDNW Tutupan tahun 2018 pada PT Adaro Indonesia, Propinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Himasapta*, 6(3), 171–176. DOI: <https://doi.org/10.20527/jhs.v6i3.4681>
- Perkasa, L.I., Dirostrimila, N.H., Soputan, P.A.P., & Widiarso, D.A. (2024). Analisis Potensi Bencana Longsor Menggunakan Metode Kinematik Di Desa Jabungan, Kota Semarang. *Jurnal Geominerba (Jurnal Geologi, Mineral Dan Batubara)*, 9(1), 53–60.
- Rezky, D. M., & Zulkarnaen, B.P. (2023). Kajian Geoteknik Mudcell sebagai Tampungan Lumpur pada Disposal Tambang Batubara. *Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi (TPT XXXII)*, 303–313.
- Sepriadi & Yuliana, R. (2019). R Rencana Desain Backfilling Dan Perhitungan Volume Material Timbunan Menggunakan Software Minescape 4.118 Untuk Memenuhi Target Produksi. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 10(01), 76–85. DOI: <https://doi.org/10.52506/jtpa.v10i01.88>
- Siregar, C.A., Ashidik, F.A.S., & Garnida, H. (2021). Perbandingan Stabilitas Lereng antara Metode Keseimbangan Batas (LEM) Dan Metode Elemen Hingga (FEM). *Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK)*, 1(1), 335–343.