Analisis Penggunaan Counterweight Sebagai Perkuatan Lereng Timbunan Outpit Dump

Analysis of Counterweight Application for Outpit Dump Slope Reinforcement

Eko Santoso[1*], Al Hayati[2], Romla Noor Hakim[3], Muhammad Fadillah Akbar[4]
Teknik Pertambangan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
Corr Author: [*1] eko@ulm.ac.id , [*2]2110813120010@mhs.ulm.ac.id, [3]romla@ulm.ac.id, [4]mfadillahakbar@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng timbunan di lokasi disposal outpit dump yang merupakan area persawahan dengan kandungan air yang tinggi dan formasi Dahor yang memiliki litologi utama batu lempung lunak, kondisi ini berpotensi terbentuknya *weak layer* dan meningkatkan risiko kelongsoran. Kelongsoran ini berdampak pada keselamatan, lingkungan, produksi, dan citra perusahaan. Sehingga disposal tersebut perlu dianalisis tingkat stabilitas lerengnya dan metode stabilisasi yang efektif serta *safety* dan ekonomis. Salah satu metode stabilitasi lereng yaitu *counterweight*. Pendekatan geoteknik melibatkan pengeboran dan SPT, pengujian laboratorium, dan analisis kestabilan lereng menggunakan *software rocsience slide 6.0.* Hasil penelitian mengidentifikasi bahwa timbunan dari formasi Warukin, *base* disposal dari fomasi Dahor, dan *weak layer* pada kedalaman RL +24 hingga RL +6. Perbandingan nilai material *properties* menunjukan bahwa nilai uji laboratorium cenderung tinggi daripada estimasi N-SPT, sehinga nilai residual dari uji laboratorium dianggap paling akurat karena merepesentasikan kekuatan material sisa. Analisis kestabilan lereng (tanpa counterweight) menunjukan faktor keamanan yang tidak memenuhi kriteria KEPMEN ESDM No. 1827 Tahun 2018, dengan *weak layer* sebagai penyebab utama ketidakstabilan. Setelah redesain *counterweight* dengan penggalian hingga RL+12 meter, FK meningkat memenuhi standar sebesar FK 1,143 – 1,604. Implementasi counterweight ini diharapkan dapat meningkatkan kestabilan lereng, mengurangi risiko kelongsoran, dan mengoptimalkan kapasitas disposal sesuai perencanaan.

Kata-kata kunci*: Counterweight*, *Disposal*, Faktor Keamanan, Stabilitas Lereng, *Weak Layer*

ABSTRACT

This research analyzes the stability of an embankment slope at an outpit dump disposal site. The location, characterized by high water content from former rice fields and soft claystone lithology of the Dahor formation, creates a significant risk of weak layer formation and landslides. Such failures pose a threat to safety, the environment, production, and the company's reputation, necessitating a thorough analysis of slope stability and effective, economical stabilization methods. This study focused on the use of a counterweight. The geotechnical approach involved drilling and SPT, laboratory testing, and slope stability analysis using Rocscience Slide 6.0. Findings revealed the embankment is from the Warukin formation, with the disposal base from the Dahor formation, and a weak layer at depths from RL +24 to RL +6. Initial analysis (without a counterweight) showed that the safety factor did not meet the criteria of KEPMEN ESDM No. 1827/2018, with the weak layer identified as the main cause of instability. After the counterweight was redesigned with excavation down to RL +12 meters, the safety factor increased to a range of 1.143 to 1.604, meeting the required standards. Implementing this counterweight is expected to enhance slope stability, reduce risk of landslides, and optimize disposal capacity.

Keywords: Counterweight, Disposal, Factor of Safety, Slope Stability, Weak Layer

Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat
This is an open access article under the CCBYND license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
©2026, Geosapta

PENDAHULUAN

Langkah awal dari metodologi analisis kestabilan lereng tambang dengan melakukan penyelidikan lapangan guna memperoleh data kondisi aktual dari massa tanah dan batuan pembentuk lereng tambang contohnya seperti kegiatan pemetaan topografi, pemetaan geologi, pemboran geoteknik hingga SPT (Irwandy Arif, 2016). Hasil SPT dapat dipakai sebagai acuan analisis pendahuluan sementara untuk memperkirakan parameter tanah hasil uji laboratorium tetapi tidak mempertimbangkan parameter lain (Terzaghi et al., 1996). Kelongsoran pada disposal umumnya berbentuk *circular failure* hal ini terjadi karena miringan lereng timbunan melebihi *angle of repose* material timbunan (Kainthola, 2011). Lereng tambang akan runtuh apabila gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan. Dengan demikian, prinsip stabilitas lereng tambang adalah mengurangi gaya pendorong atau memperbesar gaya penahan. Salah satu cara stabilitas lereng timbunan dengan menggunakan *counterweight*. *Counterweight* meliputi pekerjaan memotong dan memindahkan material *weak layer* dengan ketebalan atau kedalaman tertentu kemudian dilanjutkan pekerjaan menambahkan material secara paralel dengan material yang bagus dan keras (Dasa et al., 2023).

METODOLOGI

Pengumpulan data diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan (data primer) dan pihak perusahaan yang berhubungan dengan permasalahan yang ada (data sekunder). Data primer mencakup kegiatan penyeledikan lapangan meliputi kondisi lereng serta foto lapangan dan

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v12i2.23656

pekerjaan pengeboran geoteknik untuk pengambilan sampel dan *standard penetration test* (SPT). Sampel hasil pengeboran selanjutnya akan diuji di laboratorium untuk uji sifat fisik dan mekanik (timbunan, weak layer dan bedrock). Data SPT dan uji laboratorium digabungkan dan dianalisis untuk mendapatkan sifat material yang paling mendekat kondisi aktual di lapangan. sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis stabilitas lereng. Sedangkan data sekunder mencakup informasi terkait topografi *existing*, desain *final plan*, desain *counterweight*, hasil uji laboratorium, dan data beban dinamis.

Proses analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) pada *software Slide* versi 6.0 dari *Rocscience* dengan metode kekuatan batuan Mohr Coulomb untuk material timbunan dan *bedrock* sedangkan material *weak layer* menggunakan *strength type undrained* (Phi=0). Metode keseimbangan batas dinyatakan dalam bentuk indeks faktor keamanan yang dihitung dengan memperhatikan keseimbangan gaya atau momen, tergantung pada metode perhitungan yang digunakan (Kusuma et al., 2024).

Tipe kelongsoran menggunakan model *circular failure* surface dengan analisis kestabilan lereng menggunakan metode Spencer. Metode Spencer digunakan karena metode ini mampu menghitung angka keamanan dengan memenuhi kesetimbangan momen maupun kesetimbangan gaya, serta memperhitungkan gaya antar bidang irisan, baik gaya geser maupun gaya normal (Spencer, 1967). Metode Spencer, meskipun lebih akurat dari metode Bishop atau Janbu, tetap memiliki keterbatasan dalam hal representasi deformasi dan kebergantungan pada bentuk bidang gelincir yang diasumsikan (Duncan et al., 2014). Nilai faktor keamanan minimum yang digunakan adalah 1.3 untuk *single slope* dan 1.1 untuk *overall slope*, sesuai dengan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Kepmen ESDM) Nomor 1827 K/30/MEM/2018, dengan mempertimbangkan ketidakpastian kondisi lapangan.

Geologi Regional

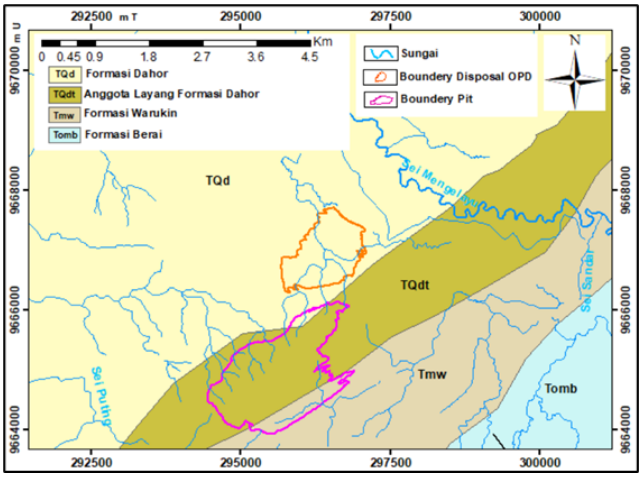
Secara regional formasi batuan yang menyusun daerah penelitian terdiri dari formasi Dahor formasi Warukin, formasi Berai, dan formasi Tanjung. Peta geologi regional menunjukkan bahwa area pit terletak pada formasi Warukin dan anggota laying formasi Dahor. sementara area disposal berada di formasi Dahor.

Seperti yang disajikan pada Gambar-1. formasi Dahor disusun oleh batulempung lunak, batupasir kuarsa yang lunak, konglomerat dan dengan sisipan lignit (5 – 10 cm), kaolin (30 – 100 cm) dan limonit. Anggota laying formasi Dahor disusun oleh batu konglomerat lebih tua dengan bentuk kerakal hingga bongkah. Sedangkan formasi Warukin disusun oleh perselingan batupasir kuarsa halus-kasar setempat konglomerat (5 – 30 cm) dan batulempung (3 – 100 cm), dengan sisipan batulempung pasiran dan batubara (20 – 50 cm).

Beban Dinamis

Seismik merupakan getaran dalam batuan yang mana menjadi acuan dalam puncak getaran gempa. Nilai percepatan getaran saat gempa terjadi dikenal sebagai *peak ground accleretation* (PGA). Nilai PGA yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2022. Nilai PGA daerah penelitian adalah 0,05 g.

External load yang digunakan dalam analisis beban alat berat terbesar yang bekerja pada area pertambangan seperti *dump truck*. Adapun alat berat yang bekerja adalah OHT CAT 777 *type* bak *dual slope body* dengan berat bermuatan 163,360 ton sehingga diperoleh beban sebesar 225 kN/m^2.



Gambar-1. Geologi Regional

Standard Penetration Test (SPT)

SPT dilakukan bersamaan dengan pemboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Jumlah pukulan disebut N-SPT. Skempton (1986) Nilai N terukur harus dikoreksi terhadap efisiensi sebesar 60% dan dinyatakan:

$$N_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (1)$$

Keterangan:
N_{60}= Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%
N_M= Hasil uji SPT di lapangan.
C_N = Faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif
C_E = Hammer efficiency
C_B = Faktor koreksi terhadap diameter bor
C_R = Faktor koreksi terhadap panjang batang SPT
C_S = Faktor koreksi terhadap pengambilan contoh

Terzaghi (1996) membuat suatu persamaan empiris sudut gesek dalam hubungannya dengan nilai SPT dengan rumus:

$$\phi = 27{,}1 + 0{,}3N_{60} - 0{,}00054\ N^2{}_{60} \quad (2)$$

Keterangan:
ϕ = Sudut gesek dalam
N_{60} = SPT N koreksi

Hubungan korelasi dengan SPT menurut Das (2010) adalah berdasarkan asumsi bahwa nilai kohesi (c) yaitu:

$$C = q_u/2 \quad (3)$$

$$q_u = N_{60}/7{,}5 \quad (4)$$

Keterangan:
q_u = Unconfined Compression Strength
N_{60} = SPT N koreksi
C = Kohesi

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v12i2.23656

Berdasarkan Bowels *foundation analysis* (1997) hubungan empiris antara standard penetration test (SPT) dengan nilai *unit weight* disajikan pada Tabel-1.

Tabel-1. Korelasi SPT dengan *Unit Weight*

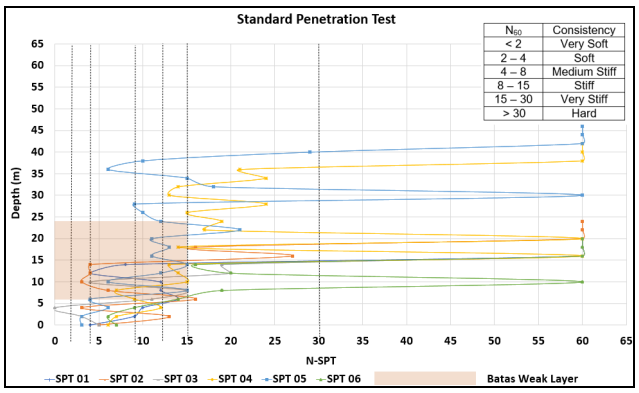
N_{60} (blows)	Υ(lb/ft^3)
0 - 4	70 - 100
4 - 10	90 - 115
10 - 30	110 - 130
30 - 50	110 - 140
>50	130 - 150

HASIL DAN DISKUSI

Kondisi Geoteknik Daerah Penelitian

Penyelidikan lapangan ini dilakukan pada tanggal 02 Juni 2024 untuk melihat secara lebih detail terkait isu geoteknik yang terjadi di timbunan OPD Utara. Hasil penyelidikan terdapat *heaving* dan *crack* yang diduga karena adanya penambahan beban material.

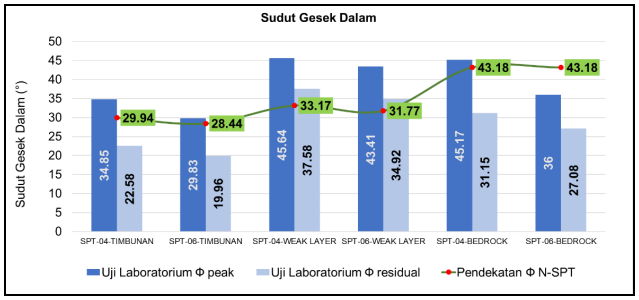
Hasil penyelidikan bawah permukaan, yang mencakup pemboran geoteknik dan *standard penetration test* (SPT), menunjukkan adanya lapisan *weak layer* berupa *soil* dan *clay* pada kedalaman RL+24 hingga RL+6 (ketebalan 18 meter) seperti yang ditunjukkan pada Gambar-2. Selain itu, material timbunan (*overburden*) terdiri atas campuran *sandstone* dan *claystone*, dengan *base disposal* yang didominasi oleh material *claystone*.



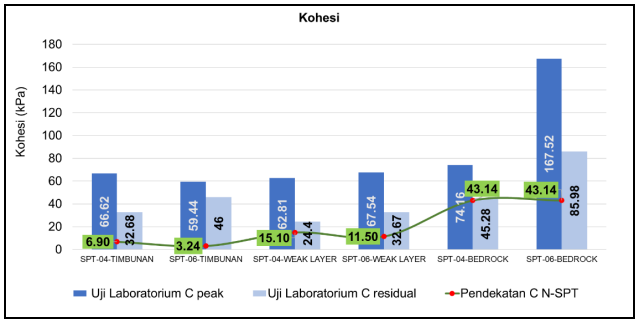
Gambar-2. Grafik N-SPT

Material Properties

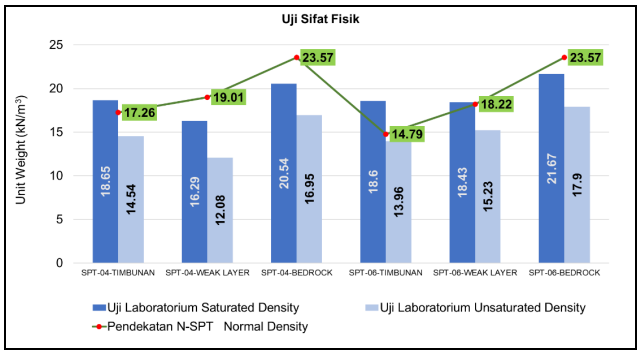
Secara umum, nilai material *properties* yang diperoleh dari hasil uji laboratorium cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai estimasi dari N-SPT. Perbedaan ini diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu sampel laboratorium yang diambil lebih tidak terganggu dibandingkan dengan kondisi SPT yang bersifat dinamis. Kemudian pengujian laboratorium dilakukan pada skala sampel kecil dalam kondisi ideal, sementara SPT mengukur respon tanah pada volume yang lebih besar dan dipengaruhi oleh homogenitas tanah serta kondisi lapangan. Perbandingan komprehensif antara hasil uji laboratorium dan pendekatan SPT untuk sudut gesek dalam disajikan pada Gambar-3, kohesi pada Gambar-4, dan sifat fisik pada Gambar-5.



Gambar-3. Perbandingan Sudut Gesek Dalam N-SPT dengan Uji Laboratorium



Gambar-4. Perbandingan Kohesi N-SPT dengan Uji Laboratorium

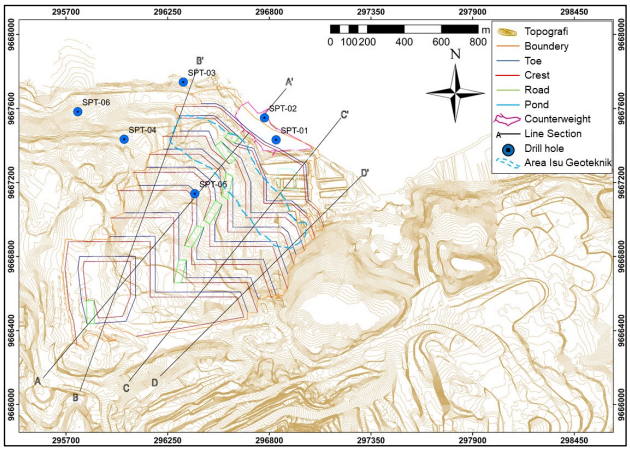


Gambar-5. Perbandingan Sifat Fisik N-SPT dengan Uji Laboratorium

Penampang Sayatan Lereng Disposal

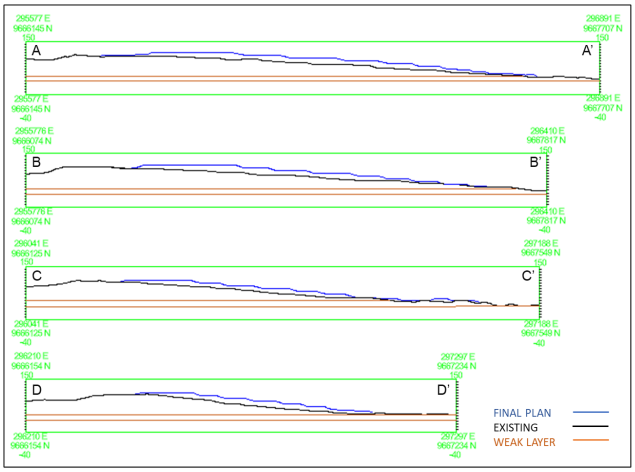
Dalam proses analisis digunakan empat penampang sayatan, dimana sayatan tersebut tidak hanya mewakili setiap lereng namun juga tegak lurus dengan permasalahan geoteknik yang terjadi di *disposal* seperti *heaving* hingga *crack*. Lokasi penampang sayatan yang mewakili area disposal dan permasalahan geoteknik yang relevan disajikan pada Gambar-6.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v12i2.23656



Gambar-6. Penampang Sayatan Lereng Disposal

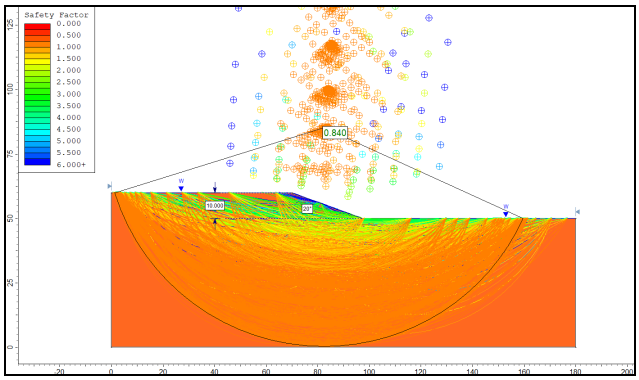
Empat penampang sayatan, yaitu A-A', B-B', C-C', dan D-D', telah dibuat untuk merepresentasikan kondisi disposal OPD Utara dan area *counterweight* secara dua dimensi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar-7. Pembuatan penampang menggunakan topografi aktual lokasi penelitian per 24 Juni 2024 dan desain *final plan* OPD.



Gambar-7. Penampang Lereng Disposal 2D

Hasil Analisis Single Slope

Analisis lereng tunggal ini dilakukan dengan material properties yang mengacu pada hasil uji laboratorium dan pendekatan N-SPT pada titik SPT-04. Seperti pada Gambar-8 merupakan contoh hasil analisis FK single slope menggunakan tinggi lereng tunggal sebesar 10 meter dengan sudut kemiringan lereng tunggal sebesar 20º. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel-2.



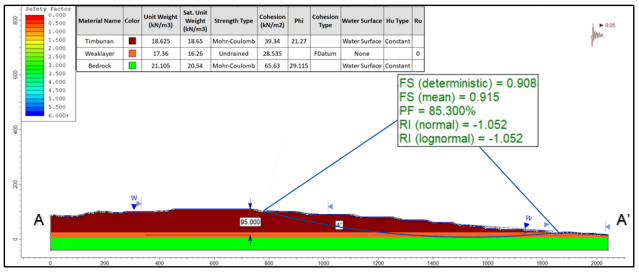
Gambar-8. FK *Single Slope Weak Layer* Menggunakan Data Hasil Uji Laboratorium

Tabel-2. FK *Single Slope*

Nama Sampel	Tinggi (m)	Sudut (º)	FK Spencer	
			N-SPT	Uji Laboratorium
Timbunan	10	20	1.350	2.228
Weak layer	10	20	0.446	0.840
Bedrock	10	20	3.709	3.090

Hasil Analisis Overall Slope

Tahapan selanjutnya setelah dilakukan analisis terhadap lereng tunggal adalah dilakukan analis secara keseluruhan lereng dari desain *disposal existing* dan *final plan design* yang telah ada. Contoh hasil analisis faktor keamanan (FK) *overall slope* untuk desain *final plan* pada section A-A' diilustrasikan pada Gambar-9, dan rekapitulasi hasil *section* lainnya tertera pada Tabel-3.



Gambar-9. FK *Overall Slope Final Plan* Menggunakan Data Hasil Uji Laboratorium *Section* A-A'

Tabel-3. FK Overall Slope

Sectio		Existing				Final Plan			
		Uji Lab	PoF (%)	N-SPT	PoF (%)	Uji Lab	PoF (%)	N-SPT	PoF (%)
A-A'		1.082	17,4	0.920	90.7	0.908	85.3	0.853	97.8
B-B'		1.034	30.9	0.882	88.7	0.899	88.8	0.860	97.4
C-C'		1.029	34.7	0.792	99.8	0.938	69.7	0.702	100
D-D'		0.948	70.4	0.759	99.4	0.861	96.2	0.705	100

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang telah dilakukan dalam bentuk *single slope*, akar permasalahan utama terletak pada karakteristik material penyusun lereng, khususnya keberadaan lapisan *weak layer* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

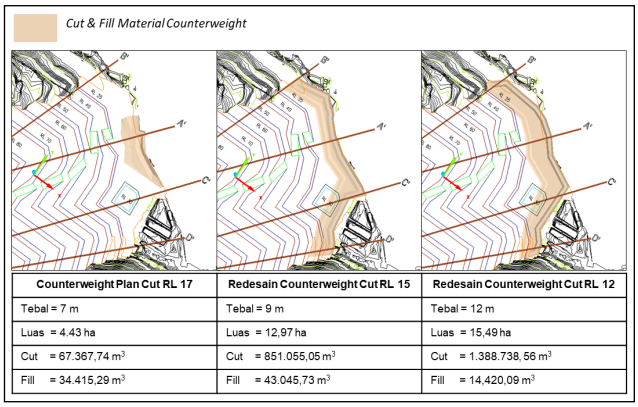
http://dx.doi.org/10.20527/jg.v12i2.23656

Hasil Analisis Menggunakan Counterweight

Penggunaan counterweight ini dapat dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh dalam perencanaan *counterweight* pada zona rawa dengan kandungan air yang tinggi sehingga proses penimbunan di area ini akan memicu pergerakan rawa dan timbunan (Dasa, 2023). Sehingga pada penelitian ini dengan adanya beban tambahan dari *overburden* di atas *weak layer* dapat memicu ketidakstabilan dan deformasi sehingga *disposal* tersebut memperlukan perkuatan lereng misalnya *counterweight.*

Implementasi *counterweight plan* difokuskan pada penampang A-A' karena merupakan zona kritis yang terdapat di garis penampang. Desain *counterweight plan* dan redesainnya ditunjukkan pada Gambar-10. Meskipun terjadi peningkatan, penting untuk dicatat bahwa nilai FK yang dihasilkan masih berada di bawah kriteria minimum 1.1 yang ditetapkan. Peningkatan yang belum optimal ini disebabkan oleh desain *counterweight* yang saat ini hanya melibatkan penggalian hingga RL +17 meter, sementara hasil penyelidikan geoteknik menunjukkan bahwa lapisan *weak layer* teridentifikasi hingga RL +6 meter.

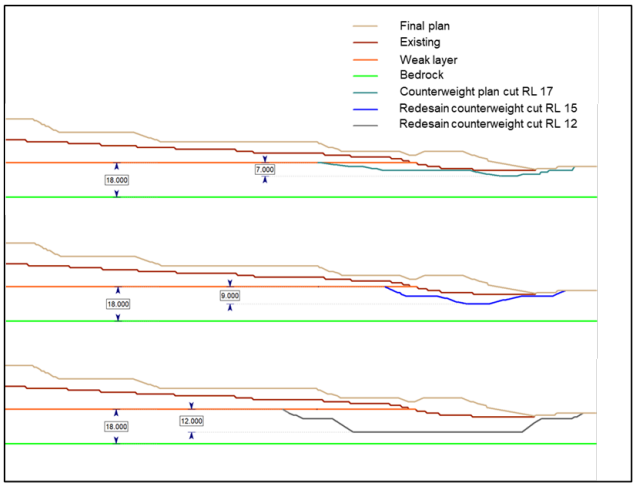
Ini berarti bahwa *counterweight* yang ada belum sepenuhnya menembus dan menggantikan seluruh ketebalan lapisan *weak layer* yang menjadi penyebab utama ketidakstabilan lereng. Oleh karena itu, meskipun *counterweight* telah memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan stabilitas, untuk mencapai nilai FK yang memenuhi standar perlu di redesain dengan penggalian yang lebih dalam, idealnya hingga melampaui RL +6 meter untuk sepenuhnya menyingkirkan atau menembus lapisan *weak layer* yang ada.



Counterweight Plan Cut RL 17	Redesain Counterweight Cut RL 15	Redesain Counterweight Cut RL 12
Tebal = 7 m	Tebal = 9 m	Tebal = 12 m
Luas = 4.43 ha	Luas = 12,97 ha	Luas = 15,49 ha
Cut = 67.367,74 m^3	Cut = 851.055,05 m^3	Cut = 1.388.738, 56 m^3
Fill = 34.415,29 m^3	Fill = 43.045,73 m^3	Fill = 14,420,09 m^3

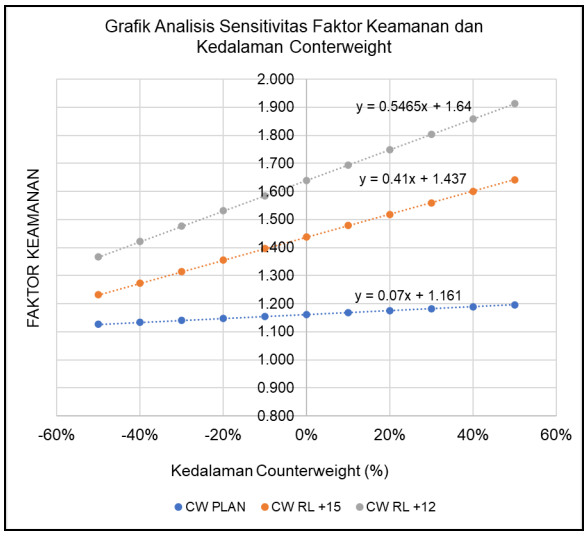
Gambar-10. Conterweight Plan dan Redesain

Penggunaan *counterweight* tidak memengaruhi geometri *final plan* karena proses ini melibatkan penggalian *weak layer* dan penimbunan kembali dengan material yang lebih baik hingga batas *final plan* yang ditentukan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar-11.



Gambar-11. Counterweight 2D

Berdasarkan grafik analisis sensitivitas menunjukkan bagaimana FK berubah seiring dengan perubahan kedalaman *counterweight*. Analisis sensitivitas yang disajikan pada Gambar-12 menunjukkan bahwa secara umum, semakin dalam *counterweight* yang diterapkan, semakin tinggi pula nilai faktor keamanan yang dihasilkan.



Gambar-12. Grafik Analisis Sensitivitas

Hasil analisis sensitivitas ini menggunakan data *counterweight section* A-A' *existing* karena desain *counterweight plan* hanya berada di *section* A-A'. Penggunaan data *existing* ini untuk mempertimbangan kondisi penggunaan counterweight saat ini. Terlihat jelas perbedaan perilaku antara *counterweight plan* (garis biru) dengan *counterweight* RL +12 (garis orange) dan *counterweight* RL+15 (garis abu-abu).

Pada *counterweight plan* perubahan kedalaman *counterweight* hampir tidak memengaruhi FK, yang ditunjukkan oleh garis yang relatif datar. Hal ini mengindikasikan bahwa desain *counterweight plan* (CW PLAN) kurang sensitif terhadap variasi kedalaman, yang ditunjukkan oleh garis yang relatif datar pada Gambar-12. Sebaliknya, *counterweight* dengan kedalaman RL +12 dan RL +15 menunjukkan sensitivitas yang signifikan terhadap perubahan kedalaman, di mana garis pada grafik (Gambar-12) terlihat curam, menunjukkan pengaruh yang efektif terhadap nilai FK.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v12i2.23656

Tabel-4. FK *Overall Slope* dan *Counterweight*

CW	Desain	FK Spencer							
		A-A'	PoF(%)	B-B'	PoF(%)	C- C'	PoF(%)	D-D'	PoF(%)
Cut RL+17	Existing	1.161	6.5	-	-	-	-	-	-
	Final Plan	1.017	38.4	-	-	-	-	-	-
Cut RL+15	Existing	1.437	0	1.212	0.3	1.346	0.3	1.169	0.8
	Final Plan	1.213	0	1.059	3	1.241	1.1	1.114	7.9
Cut RL+12	Existing	1.604	0	1.362	2.7	1.386	0.6	1.303	5.3
	Final Plan	1.578	0.6	1.223	23.6	1.282	1.9	1.143	12.9

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada hasil penyelidikan geoteknik bawah permukaan, area *disposal* berupa *overburden* dari formasi Warukin, yang terdiri dari campuran batupasir, dan batulempung. Sementara itu, material dasar disposal berasal dari formasi Dahor, yang tersusun atas batupasir, konglomerat, batulempung, dan lignit. Selain itu, ditemukan juga lapisan lemah (weak layer) berupa material tanah (soil) dan lempung (clay). Lapisan lemah ini teridentifikasi pada RL +24 hingga RL +6 berdasarkan hasil pengujian SPT. Oleh karena itu, uji CPT direkomendasikan untuk memastikan keberadaan *weak layer* tersebut.
2. Penggunaan nilai N-SPT menghasilkan FK yang sangat rendah, sementara nilai peak laboratorium akan menghasilkan FK yang sangat tinggi dan terlalu optimis. Oleh karena itu, penggunaan nilai residual dari uji laboratorium adalah yang paling mendekati aktual, karena nilai ini merepresentasikan kekuatan material sisa setelah deformasi.
3. Hasil dari analisis *single slope* menunjukkan *weak layer* adalah penyebab utama ketidakstabilan. Beban tambahan dari *overburden* di atas *weak layer* memicu ketidakstabilan dan deformasi sehingga disposal tersebut memperlukan perkuatan lereng berupa *counterweight*.
4. Berdasarkan analisis *counterweight* yang digunakan apabila menggunakan *counterweight* dari RL+15 maka dari faktor keamanan (FK) yang dihasilkan kritis sehingga hampir tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan. Namun apabila menggunakan *counterweight* dari RL +12 maka dari desain topografi *existing* dan *final plan* faktor keamanan (FK) yang dihasilkan memenuhi kriteria yang ditetapkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada PT CK atas kesediaan untuk berdiskusi dan memberikan masukan mendalam pada penyelesaian ini terkait *counterweight* pada *disposal*, terutama yang berkaitan dengan penggunaan *counterweight* pada area *disposal* yang terdapat *weak layer*. Pandangan dan saran dari Bapak/Ibu sangat berarti untuk pengembangan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik .

DAFTAR ACUAN

[1] Arif, P. D. I. I. A., M. 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama

[2] Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis and Design*. 235

[3] Das, B. M. 2010. *Principlles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning. 397

[4] Dasa, A. G. U., Nugraha, A. P., & Anriansyah, M. O. 2023. O*ptimalisasi Disposal Opd Lowwall Pada Zona Rawa Sangat Lunak Dan Jenuh Air Berdasarkan Rekomendasi Geoteknik, Pt. Barasentosa Lestari, Sinarmas Mining*. *I*ndonesian Mining Professionals Journal, 5(2), 49–60

[5] Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. 2014. *Soil Strength and Sope Stability*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey in Canada.

[6] Kainthola, A. 2011. *A Coal Mine Dump Stability Analysis—A Case Study*.

[7] Kusuma, D. D., Irvani, I., & Tono, T. 2024. *Kajian Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Di Pit C5 Area Bidadari Blok Mayang.* Jurnal Himasapta, 9(1), 29. https://doi.org/10.20527/jhs.v9i1.9516

[8] Skempton, A. W. 1986. *Standard Penetration Test Procedure and The Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation*. Geotechique 6, No 3, 425-447.

[9] Spencer, E. 1967. "*A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces.*" Geotechnique, Vol. 17, No. 1, pp. 11-26.

[10] Terzaghi, K., Peck, B. R., & Mesri, G. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. A Wiley-Interscience Publication J