

REDESIGN ANALISIS STABILITAS LERENG OUT PIT DUMP (OPD) S2 PADA PIT “ATHRAN”, LAPANGAN CAS, KALIMANTAN TIMUR

Diah Wully Agustine^{1*}, Zella Navtalia², Hisni Rahmi², Muhammad Faisal Seprizal², Risnaliyah Nuril Tadersi³

¹Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muara Bulian No. KM. 15 Mendalo Darat, Muaro Jambi, 36361, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muara Bulian No. KM. 15 Mendalo Darat, Muaro Jambi, 36361, Indonesia

³Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Muara Bulian No. KM. 15 Mendalo Darat, Muaro Jambi, 36361, Indonesia

*email: diahwullyagustine@unja.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan penambangan terbuka di Pit “Athran”, Kalimantan Timur, menghasilkan material buangan dalam jumlah besar sehingga memerlukan desain out pit dump (OPD) yang stabil dan aman. Variasi litologi Formasi Warukin dan Formasi Dahor yang terdiri dari batupasir, batulempung, batubara, serta material lepas memengaruhi perilaku geoteknik dan potensi ketidakstabilan lereng. Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng OPD S2 menggunakan metode Janbu sebagai pendekatan utama karena sesuai untuk material non-koheusif dan heterogen. Beberapa skenario desain diuji melalui pemodelan numerik dengan mempertimbangkan kondisi air tanah, beban lalu lintas alat berat, serta variasi elevasi dan jenis material timbunan. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai faktor keamanan (FK), mulai dari kondisi kritis (FK 1,161), nearly stable (FK 1,220), hingga sangat stabil (FK 1,48). Desain paling aman dicapai pada konfigurasi 3 bench dengan ketinggian maksimal 30 m, penggunaan material lebih kompak pada toe, serta penghindaran water ponding. Rekomendasi ini menjadi acuan teknis untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasi penimbunan di OPD S2 Pit “Athran”.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng; Out Pit Dump (OPD); Metode Janbu.

ABSTRACT

[Title: Redesign of Slope Stability Analysis of Out Pit Dump (OPD) S2 at the "ATHRAN" Pit, CAS Field, East Kalimantan] Open-pit mining activities at the Pit “Athran” in East Kalimantan produce large volumes of waste material, requiring a stable and safe out-pit dump (OPD) design. Variations in the lithology of the Warukin and Dahor Formations—comprising sandstone, claystone, coal, and unconsolidated materials—significantly influence geotechnical behavior and slope instability potential. This study analyzes the stability of the OPD S2 slope using the Janbu method as the primary approach, as it is suitable for non-cohesive and heterogeneous materials. Several design scenarios were evaluated through numerical modeling by considering groundwater conditions, heavy equipment traffic loads, and variations in elevation and dump material types. The analysis results indicate a range of safety factors (FoS), from critical (FoS 1.161) and nearly stable (FoS 1.220) to highly stable conditions (FoS 1.48). The safest design is achieved with a three-bench configuration at a maximum height of 30 meters, the use of more compact material at the toe, and the elimination of water ponding. These recommendations serve as technical guidelines to enhance safety and operational efficiency in the OPD S2 waste dump at the Pit “Athran”.

Keywords: Slope Stability; Out Pit Dump (OPD); Janbu Method

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan terbuka menghasilkan volume material buangan yang tinggi sehingga memerlukan area penimbunan (*out pit dump*) yang dirancang stabil dan aman sehingga dibuatlah perancangan *disposal* atau design area *out pit dump* oleh seorang *mine engineer*. Tujuan dari perancangan *disposal* adalah mencegah terjadinya kecelakaan pada saat pengoperasian *disposal* berupa tabrakan antar alat berat maupun terjatuh dari ketinggian karena kegagalan kestabilan di *disposal* (Nurwaskito et al., 2016).

Kestabilan lereng baik lereng alami maupun lereng buatan serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan secara sederhana sebagai gaya penahan dan gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (Pane & Anaperta, 2019).

Ketidakstabilan lereng pada area timbunan dapat menimbulkan risiko serius, seperti longsor, kerusakan infrastruktur tambang, gangguan operasional, hingga potensi kerugian ekonomi dan keselamatan kerja. Oleh karena itu, analisis kestabilan lereng menjadi langkah penting untuk memastikan desain timbunan memenuhi standar geoteknik (Aini, 2018; Nurwaskito et al., 2016; Pasole et al., 2020; Ryka et al., 2025; Salam Munir et al., 2021).

Pit "Athran" di Kalimantan Timur merupakan salah satu lokasi penambangan yang memiliki karakteristik geologi dan kondisi material buangan yang bervariasi, sehingga memerlukan evaluasi teknis terhadap kestabilan lereng *out pit dump*. Untuk mencegah terjadinya longsor tersebut perlu dilakukan analisis kestabilan lereng yaitu dengan menentukan faktor keamanan dari lereng tersebut. Hal ini termasuk ke dalam rekayasa geoteknik, dimana kita akan banyak berhubungan dengan hasil empiris yang disebabkan oleh perilaku alamiah dari material tanah dan batuan (Aini, 2018).

Meninjau kembali kondisi geoteknik Pit "Athran" dimana terdahulu telah mengindikasikan bahwa penggunaan sandy material sebagai penyusunlereng memerlukan perhatian khusus dalam analisis kestabilan lereng (Agustine et al., 2019).

GEOLOGI REGIONAL

Pit "Athran" secara regional berada di dalam Cekungan Barito, yaitu cekungan sedimen berumur Tersier yang berkembang akibat proses penurunan tektonik (*subsidence*) sejak Paleogen hingga Neogen. Secara stratigrafi, wilayah ini tersusun oleh satuan batuan Miosen–Plio–Pleistosen yang menjadi bagian penting dari pengendapan fasies *fluvial*, *deltaik*, hingga rawa. Posisi Pit "Athran" secara khusus berada

pada dua satuan utama, yaitu Formasi Warukin dan Formasi Dahor, yang masing-masing memiliki karakteristik litologi dan lingkungan pengendapan yang berpengaruh langsung terhadap kondisi geologi dan geoteknik tambang (Monikha et al., 2019).

Formasi Warukin (Miosen Tengah–Atas) didominasi oleh batupasir kuarsa-konglomeratan, batulempung, lanau, serta sisipan batubara berketebalan bervariasi. Satuan ini umumnya diendapkan dalam lingkungan *fluvial meandering* hingga *lower delta plain*, dimana sublingkungan pengendapan adalah *levee* dan *channel*. *Levee* tersusun oleh batupasir dan konglomerat yang menjadi sisipan di satuan batupasir dan batubara sebagai penciri daerah reduksi (anaerob). Sedangkan *channel* diisi oleh batupasir dengan struktur sedimen laminasi, silangsiur ataupun kontak erosi. Sehingga memperlihatkan perubahan fasies lateral yang cukup cepat. Kehadiran batupasir berbutir sedang–kasar, berwarna putih abu sampai coklat muda dan atau lapuk kemerahan terdapat sisipan batulempung dan batulanau yang menunjukkan undulasi dimana mencirikan porositas sedang yang kompak dengan tingkat sementasi bervariasi menjadi penentu penting dalam sifat keteknikan massa batuan, sementara sisipan lempung dan batubara memberikan kontrol pada zona lemah serta potensi deformasi lokal (Agustine et al., 2019; Heryanto & Panggabean, 2013; Monikha et al., 2019; Rusmarwanto et al., 2015).

Formasi Dahor (Plio–Pleistosen) merupakan satuan yang lebih muda, tersusun oleh kerikil–pasir lepas, lanau, lempung, dan material sedimen kuartar dangkal lainnya. Batuan pada formasi ini umumnya tidak terkonsolidasi dengan baik, menunjukkan karakter sedimen *fluvial–aluvial* yang berasosiasi dengan aktivitas pengisian cekungan bagian atas. Sifatnya yang lepas dan berporositas tinggi menyebabkan formasi ini sensitif terhadap erosi dan berpengaruh terhadap stabilitas lereng, khususnya di zona penutup (*overburden*) (Heryanto & Panggabean, 2013; Rusmarwanto et al., 2015).

Secara keseluruhan, keberadaan Formasi Warukin dan Formasi Dahor di area Pit "Athran" menjadi faktor kunci dalam memahami kondisi geologi regional, pola sebaran litologi, serta implikasi teknis terhadap perencanaan tambang, kestabilan lereng, dan pengelolaan air tambang (Agustine et al., 2019; Heryanto & Panggabean, 2013; Monikha et al., 2019).

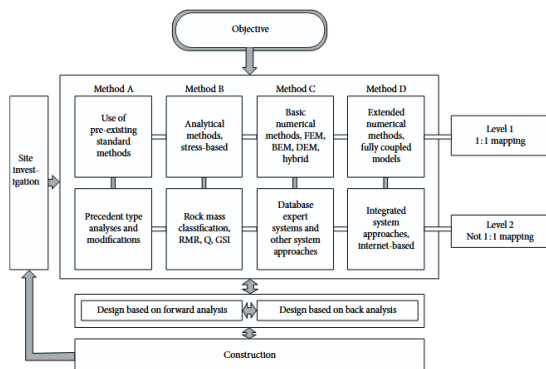
Litologi penyusun Formasi Warukin dan Formasi Dahor memiliki pengaruh langsung terhadap nilai stabilitas lereng di area tambang. Formasi Warukin yang terdiri atas batupasir bersemen lemah–sedang, batulempung, serta sisipan batubara menciptakan kondisi lereng dengan kontras kekuatan

antar lapisan, sehingga zona lempung dan batubara berpotensi menjadi bidang gelincir. Sementara itu, Formasi Dahor yang didominasi material lepas seperti pasir, lanau, dan kerikil tidak terkonsolidasi menyebabkan rendahnya kohesi dan tingginya permeabilitas, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap erosi dan deformasi lereng dangkal. Kombinasi kedua satuan ini menghasilkan kondisi geoteknik yang memerlukan pengendalian lereng yang hati-hati, terutama pada area transisi litologi dan zona lapuk (Agustine et al., 2019; Heryanto & Panggabean, 2013; Monika et al., 2019; Rusmarwanto et al., 2015).

Tabel 1. Kolom Stratigrafi tanpa skala (Rusmarwanto et al., 2015). (kotak merah merupakan karakter Formasi area Pit “Athran”)

ZAMAN	KALA	Waktu (jy)	SIMBOL	PEMERIAN	FOSIL	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
Kuartar	Holosen	0.00		Satuan endapan aluvial, terdiri atas material lepas yaitu krikil, pasir dan lempung yang tertransport oleh proses sungai dan rawa. Prosesnya berlangsung hingga sekarang.	—	Sungai dan Rawa
	Plistosen	1.6		Satuan konglomerat Dahor, terdiri atas konglomerat (dominan) putih kemerahan, ukuran fragmen kerikil - kerakal, agak membundar - membundar, terpelah buruk. Kemas terbuka, komposisi fragmen - kuarat, andesit, batupasir, limonit, hematit, struktur sedimen masif dan graded bedding.	(Barren)	Upper Delta Plain - fluvial (Horne, 1978)
Tersier	Pliosen	5.3		Satuan batupasir pembawa batubara Warukin, batupasir, pulih kekuningan, ukuran butir pasir sangat kasar - pasir sangat halus, membundar, terpelah baik, kemas tertutup, komposisi : kuarsa, oksida besi (limonit dan hematit) struktur sedimen masif, lamnasi, perlapisan, cross bedding dan graded bedding.	(Barren)	
	Miosen	11.3				
	Awal	16.2				

Proses perancangan struktur teknik dimulai dari penyelidikan lokasi (*mine pit*) dan dilanjutkan dengan empat metode utama (A, B, C, dan D) untuk penyelesaian proyek. Data yang detail tentang data geologi yang tercerminkan melalui karakter material untuk perhitungan nilai propertis setiap material tidak tersedia dengan baik dan lengkap untuk membuat suatu design OPD S2.



Gambar 1. Metode penyelesaian masalah rekayasa batuan (Hussian, dkk, 2020)

1. Pendekatan Analisis

- Analisis stabilitas untuk redesign OPD S2, karena sudah menunjukkan adanya retakan pada area OPDS2.
- Mengambil nilai Rock Strength dari Borehole GT 02 dengan beberapa parameter estimasi
- Tahanan geser dari massa tanah yang setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- Menggunakan garis pizometrik estimasi untuk air tanah dan menetapkannya sebagai bagian yang jenuh air.

Tabel 2. Rock Strength Data

Strength type Mohr-Coulomb	Waste sandy material	Waste good material	Coal	Sandy material	Siltstone /B seam J
Unit Weight (kN/m3)	19	21	13	21	15
Cohesion (Kpa)	8	29	214	32	157
Friction Angle (deg)	20	25	31	32	21

Ada beberapa pengembangan metode yang dapat digunakan seperti analisis umum, metode Fellenius, metode Spencer, metode Janbu dan Bishop.

Pada analisis stabilitas lereng di OPD S2 ini kami mencoba menggunakan Metode Bishop dan Janbu (*Janbu Generalized*), tetapi setelah dilakukan beberapa kali percobaan makayang paling mendekati dengan case di lapangan adalah Metode Janbu karena metode ini merupakan salah satu metode yang paling cocok untuk setiap case dengan kondisi material yang ada di Indonesia. Pun juga metode ini cocok di aplikasikan untuk *area out pit dump* yang dimana materialnya cenderung non kohesif dan heterogen. Sehingga Metode Janbu ini kami gunakan sebagai *baseline analysis area OPD S2* (Arif, 2016; Arirupa, 2021; Cherianto Parluhutan Rajagukguk Turangan & Monintja, 2014; Hussian et al., 2020; Ryka et al., 2025).

METODE JANBU

Pada tahun 1954 Janbu membuat suatu metode analisa yang dapat digunakan pada permukaan longsor yang berbentuk circular dan non circular. Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan horizontal pada dasar tiap-tiap risan dengan memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya.

Metode Janbu adalah salah satu metode analisis stabilitas lereng yang digunakan dalam geoteknik untuk menghitung faktor keamanan (FK) terhadap kelongsoran. Metode ini termasuk dalam metode keseimbangan batas (limit equilibrium method).

Metode ini tidak mengasumsikan bidang keruntuhan berbentuk busur dan tidak menggunakan penyelesaian persamaan dengan metode momen akan tetapi menggunakan gaya-gaya yang bekerja secara vertikal dan horizontal (Amri et al., 2021; Korah Turangan E & Sarajar, 2014; Pasole et al., 2020).

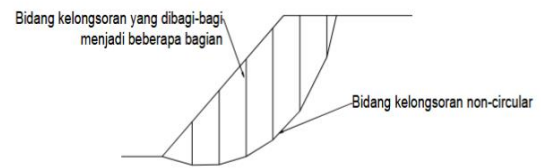
Metode Bishop digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng dan memperoleh hasil yang akurat dalam memprediksi potensi longsor. Sementara pada penelitian ini, metode Janbu dipilih karena lebih sesuai untuk kondisi material non-koheusif dan heterogen pada OPD S2.

Pada prinsipnya, ada 2 golongan yang digunakan untuk menstabilkan lereng yaitu:

1. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak dengan cara mengubah bentuk lereng yang bersangkutan.
 - a. Mengubah lereng lebih datar atau mengurangi sudut kemiringan
 - b. Memperkecil ketinggian lereng
 - c. Mengubah lereng menjadi lereng bertingkat (multi slope)
2. Memperbesar gaya melawan atau momen melawan
 - a. Memakai *Counterweight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng
 - b. Mengurangi tekanan air pori di dalam lereng
 - c. Dengan cara mekanis, yaitu dengan memasang tiang atau membuat dinding penahan.

Sedangkan ada 2 penyebab terjadinya longsor menurut, yaitu:

1. Penyebab Eksternal : menyebabkan naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh, antara lain:
 - a. Perubahan geometri lereng
 - b. Beban dinamik karena *dump truck (traffic loading)*
 - c. Gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi atau ledakan
 - d. Penurunan muka air tanah secara mendadak
2. Penyebab Internal : faktor-faktor internal ini antara lain menyebabkan turunnya kekuatan geser material, antara lain yaitu:
 - a. Pelapukan
 - b. Keruntuhan *Progressive*
 - c. Hilangnya sementasi material
 - d. Berubahnya struktur material



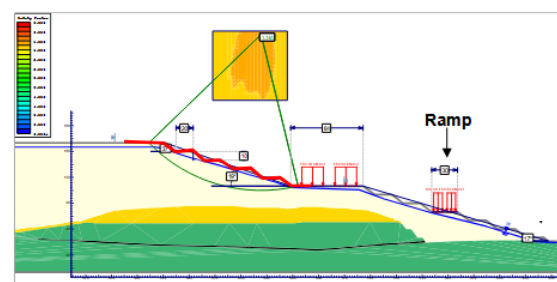
Gambar 2. Metode *Limit Equilibrium Non Circular*

Ciri Utama Metode Janbu

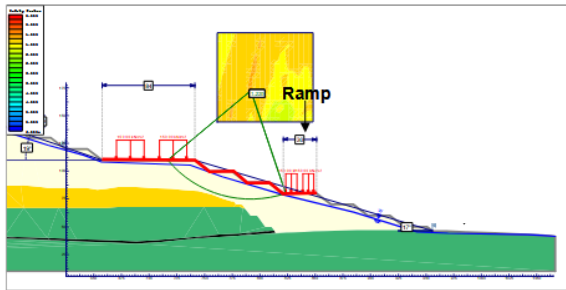
- Menggunakan irisan (*slice method*) untuk membagi lereng menjadi beberapa bagian.
- Memperhitungkan keseimbangan gaya horizontal dan vertikal, namun untuk versi sederhana (Janbu Simplified) hanya keseimbangan gaya horizontal.
- Dapat digunakan untuk bidang longsor non-lingkaran, sehingga fleksibel untuk berbagai kondisi geologi.
- Terdiri dari dua jenis:
 - Janbu *Simplified* → lebih cepat, cukup akurat untuk desain awal.
 - Janbu *Generalized* → lebih teliti, mempertimbangkan keseimbangan momen dan gaya.

ANALISIS STABILITAS OPD S2

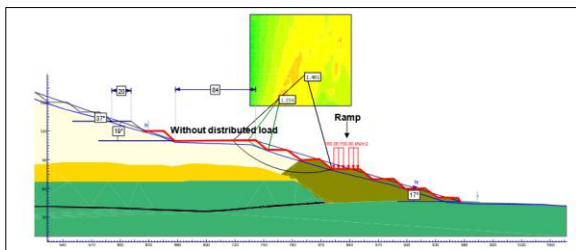
Untuk mengetahui nilai batas *Factor of Safety* dari setiap bagian OPD S2 yang sedang kami monitor dengan berbagai *back analysis* menggunakan beberapa macam material yang berasal dari *in pit mine* yang dikombinasikan dengan berbagai bentuk *out pit dump design*. Maka kami telah membuat beberapa sayatan untuk melakukan perhitungan nilai FoS/FK. Dari nilai FoS/ dengan menggunakan *software SLIDE*.



Gambar 3. Perhitungan nilai FOS/FK pada sayatan A di RL 110-160, *Critical Point*.



Gambar 4. Perhitungan nilai FoS/FK pada sayatan A di RL 80-110, *Nearly Stable*.



Gambar 5. Perhitungan nilai FoS/FK pada sayatan B di OPD S2, Pit Athran, *Stable*.

Setelah dilakukan beberapa kali *redesign* menggunakan material yang berasal dari *in pit mine area* dan membuat model pada setiap RL / elevasi pada setiap *section* di OPD S2, maka dapat dilihat terdapat perbedaan nilai FoS/FK pada setiap *design* yang telah dibuat, berdasarkan elevasi per tiap *design* dan juga material penyusunnya.

Pada Gambar 3, terletak pada sayatan A setelah dilakukan analisis dengan kondisi *slip surface circular*, dan kondisi *ground water* bersifat *part saturated* dimana tidak diberikan *vertical distributed load*, dan di *design* menggunakan 3 *benching* dengan nilai *slope* 37° , 19° dan 17° pada RL (elevasi) 110-160 dan diisi penuh oleh *sandy material* maka di dapatkan hasil FoS/FK nya adalah 1.161 dimana ini tergolong masih sangat *critical* untuk terjadinya longsor karena dengan kondisi elevasi yang begitu tinggi di RL 110 – 160, akan sangat berpengaruh terhadap material yang memiliki nilai *propertis batuan* yang buruk seperti *sandy material* di area *out pit dump S2*. Sehingga *design* ini tidak dapat diaplikasikan ke dalam *design* permanen untuk rekonstruksi *out pit dump S2* (Achmad et al., 2016; Subianto et al., 2018).

Kemudian pada Gambar 4, dilakukan lagi *analysis* pada sayatan A dengan kondisi *slip surface circular*, dan *ground water* nya bersifat *part saturated*, kemudian dalam kondisi ini diberikan *vertical distributed load* senilai 150 Kn/m^2 , dengan asumsi bahwa area ini akan banyak dan sering dilalui oleh moda transportasi *mining*, seperti *dozer*, *dump truck*, *grader* dll, tetapi dengan kewajiban untuk memotong ketinggian *dumping* terlebih dahulu. Ini bisa terlihat pada

sayatan ini diaplikasikan pada elevasi/RL 80-110, dan hasil nilai FoS/FK nya adalah 1.220 dimana pada *range* nilai ini disimpulkan *Nearly Stable* yang diartikan bahwa sudah mendekati nilai kestabilan lereng yang telah *designed* menggunakan *sandy material*. Tetapi belum bisa di aplikasikan ke dalam aktual *design* OPD S2 di lapangan, karena masih memiliki nilai rawan resiko bencana longsong dengan nilai *range* tersebut sehingga dicari lagi posisi dan bentuk *design* paling aman yang nantinya akan dilihat dari nilai FoS/FK nya.

Selanjutnya dapat dilihat pada hasil analisis masih menggunakan *slope* yang sama pada sayatan A, di sayatan B, di Gambar 5 ini di *design* pada OPD S2 di elevasi/RL 110 menuju 40 dengan pengisi *dumping area* berupa *sandy material* dan material yang bagus (lebih kompak), hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai kohesi dan sudut geser dari *sandy material* dan *waste good material* dengan *slip surface circular*, *ground water* berupa *water saturated* dan tidak diberikan *vertical distributed load* nya, sehingga didapatkan hasil dengan nilai FoS/FK yaitu 1.48. Dimana nilai ini merupakan nilai yang tergolong sangat stabil dan dapat dipastikan bahwa tingkat kerawannya tidak ada, sehingga *design* dan material yang digunakan dan di uji pada analisis sayatan B ini lebih layak untuk diaplikasikan untuk area OPD S2.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan uji coba untuk mencari nilai FoS/FK yang stabil pada sayatan B untuk dapat di aplikasikan ke OPD S2 maka dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai stabil dengan *range* sama dengan FoS/FK = 1.3 yang aman untuk lereng di *out pit dump S2* adalah sebagai berikut :

- Faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan lereng yaitu :
 - a. Proses Pelapukan
 - b. Akibat aktifitas penggalian dan penimbunan pada daerah tambang secara langsung, sedangkan secara tidak langsung yaitu akibat pengairan baik yang bersifat alami (hujan) maupun buatan. Akan menyebabkan erosi dan kenaikan muka air tanah yang nantinya akan mempengaruhi daya beban yang dimiliki oleh tubuh lereng tersebut.
- Maximum nilai tinggi dari *waste sandy material* adalah 30 meter dari dasar *design / toe design*. Atau sama dengan maksimal 3 *bench* yang dibuat di lapangan.
- Untuk *mine ramp* dibagian selatan harus menggunakan sumber material untuk *dumping* berupa dari IB *seam DC* atau *seam C*

- Pada *final toe* harus menggunakan material yang baik dan bagus dengan ketinggian 30 meter /3 bench.
- Tidak boleh ada *water ponding* pada *toe bench*

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, A., Suwarno, & Sarjanti, E. (2016). Hubungan Sifat Fisik Tanah Dengan Kejadian Longsorlahan Di Sub-Das Logawa Kabupaten Banyumas (Relation of Physical Characteristic of Soil with Landslide in Logawa Sub-watershed, Banyumas). *Geo Edukasi*, 5(1), 31–36.
- Agustine, D. W., Salindeho, L. M., & Wiyanti, H. S. (2019). Analisa Stabilitas North Ramp Low Wall Pada Sandy Material Pit “Athrun”, Lapangan Cas, FM. Warukin, Kalimantan Timur. *Prosiding, Seminar Teknologi Kebumihan Dan Kelautan I (SEMITAN I) 2019*, 1(1), 89–91.
- Aini, Q. (2018). *Analisis Kestabilan Lereng Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 27.6 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam*.
- Amri, N., Dharmawansyah, D., Raya Olat Maras, J., Alang-Moyo Hulu, B., & Sumbawa Nusa Tenggara Barat, K. (2021). PERBANDINGAN METODE BISHOP DAN JANBU DALAM ANALISIS STABILITAS LERENG PADA OPRIT JEMBATAN LABU SAWO SUMBAWA. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1).
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Arirupa, G. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Pemodelan Numerik Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Universitas Hasanuddin.
- Cherianto Parluhutan Rajagukguk Turangan, O. A., & Monintja, S. (2014). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE BISHOP (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 139–147.
- Heryanto, R., & Panggabean, H. (2013). Lingkungan Pengendapan Formasi Pembawa Batubara Warukin di Daerah Kandangan dan Sekitarnya, Kalimantan Selatan. *JSD.Geol*, 23(2).
- Hussian, S., Mohammad, N., Ur Rehman, Z., Khan, N. M., Shahzada, K., Ali, S., Tahir, M., Raza, S., & Sherin, S. (2020). Review of the geological strength index (GSI) as an empirical classification and rock mass property estimation tool: Origination, modifications, applications, and limitations. In *Advances in Civil Engineering* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/6471837>
- Korah Turangan E, T. A., & Sarajar, A. N. (2014). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE JANBU (STUDI KASUS : KAWASAN CITRALAND). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 22–28.
- Monikha, Nurdrjat, Ganjar, R. M., Firmansyah, Y., & Abdurachman, M. (2019). Perbandingan Karakteristik Batubara Formasi Warukin Atas Dan Warukin Bawah Terhadap Gas Content Di Cekungan Barito. *Padjadjaran Geoscience*, 3(6), 397–411.
- Nurwaskito, A., Widodo, S., & Wicaksono, A. S. (2016). ANALISIS FAKTOR KEAMANAN GEOMETRI LERENG DISPOSAL DAN MENGETAHUI JUMLAH VOLUME DISPOSAL OPTIMAL. In *Jurnal Geomine* (Vol. 4, Issue 3). Desember.
- Pane, R. A., & Anaperta, Y. M. (2019). Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 4(3).
- Pasole, D., Patanduk, J., Lie, I., & Wong, K. (2020). Analisis Stabilitas Lereng Disposal Menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Ordinary. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(3). <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej>
- Rusmarwanto, H., Kuncoro, B., & Harjanto, A. (2015). Geologi dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tebal Lapisan Batubara Di Daerah Cintapuri Dan Sekitarnya, Kecamatan Simpang Empat Pengaron, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*, 2(1), 1–102.
- Ryka, H., Firdaus, M. D., & Pratikno, F. A. (2025). *Stabilitas Lereng pada Tambang Batubara* (W. Yuliani, Ed.; Pertama). Menara Press Indonesia. www.menarapress.com
- Salam Munir, A., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F. N., Asmiani, N., & Martireni, A. P. (2021). Analisis Kestabilan Lereng

Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros-Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros. *Jurnal Geomine*, 9(2), 150–167.

Subianto, S., Triantoro, A., & Riswan, R. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Plan Disposol Pada

Pit Mulia PT Arutmin Indonesia Kecamatan Kintap Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal GEOSAPTA*, 4(2), 75–83.