



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KAJIAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN DAN ANALISIS STEREOGRAFIS
TERHADAP STABILITAS LERENG PADA OPERASI PENAMBANGAN
TAMBANG BATUBARA AIR LAYA DESA TANJUNG ENIM KABUPATEN
MUARA ENIM**

SUMATERA SELATAN

TUGAS AKHIR

DIAN ARFA ATMAJA

21100110120052

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI

SEMARANG

SEPTEMBER 2014

KAJIAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN DAN ANALISIS STEREOGRAFIS
TERHADAP STABILITAS LERENG PADA OPERASI PENAMBANGAN
TAMBANG BATUBARA AIR LAYA, DESA TANJUNG ENIM, KABUPATEN
MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN

Oleh: Dian Arfa Atmaja
arfaatmaja@gmail.com

Slope stability problems on an open pit mine is a very important issue because it involves issues of human safety, mining equipment, and other infrastructure that is located around the excavation slopes. PT. Pamapersada is a coal mining contractor company that uses open pit system. Based on experience, sometimes avalanches or cracks occur in excavated slopes. To determine the relationship between the classification of the rock mass and slope stability slope forming material is necessary to do a research on the matter. Research sites located in Tambang Air Laya pit. This is because the TAL Pit excavation area that has considerable variation in complex geological structures.

Geological mapping carried out to determine the distribution of lithology and geological structures contained in the Tambang Air Laya Pit. Geotechnical mapping carried out to classify the rock mass based on Rock Mass Rating.

From the field observations, the study area was divided geologically into four lithologic units, sandstone, mudstone, andesite, and coal. Based on the classification of the rock mass, the study area was divided into 4 types of rock mass: Type 1 rock mass composed of andesite with RMR value of 92 (very good rock), rock mass composed of type 2 rather weathered sandstone with RMR value of 80 (good rock), rock mass type 3 is composed of moderately weathered sandstone 50-70 RMR value (fair rock), type 4 is composed of claystone with 44-62 RMR value (fair rock). Slope stability analysis using the program Slide Ver. 5, was conducted to determine the stability of existing slopes, changes in slope geometry, and simulated slopes formed by a type of rock mass. The results of the analysis showed that the TAL Pit slope design is in a state unsafe with F_k between 1:19 - 1,248.

Keywords: Slope Stability, Rock Mass Rating, Safety Factor

I. PENDAHULUAN

PT. Pamapersada Nusantara merupakan salah satu kontraktor tambang batubara dengan sistem pertambangan terbuka, salah satu lokasi kegiatan berada di Sumatera Selatan Indonesia yang resmi berdiri pada tahun 1993. Perusahaan ini menjadi kontraktor PT. Bukit Asam Persero dan saat ini memiliki 7 pit aktif, dengan 2 area penambangan, salah satunya Tambang Air Laya (TAL).

Pit TAL dipilih sebagai lokasi penelitian karena di daerah tersebut berkembang struktur geologi seperti rekahan, lipatan, dan patahan yang cukup intensif. Dimana struktur-struktur geologi yang

ada akan berpengaruh terhadap kestabilan suatu batuan, dalam hal ini masalah kestabilan lereng. Masalah kestabilan lereng di dalam suatu pekerjaan yang melibatkan kegiatan penggalian maupun penimbunan merupakan masalah penting, karena ini menyangkut masalah keselamatan manusia, peralatan, dan bangunan yang berada di sekitar lereng tersebut. Dalam pekerjaan penambangan dengan cara tambang terbuka, lereng yang tidak mantap akan dapat mengganggu kelancaran produksi.

Untuk memastikan kestabilan suatu aktivitas pemotongan lereng batuan,

baik lereng yang baru terbentuk maupun yang lama, dibutuhkan evaluasi bidang diskontinuitas dari batuan tersebut. Berbagai jenis keruntuhan lereng batuan berhubungan dengan struktur-struktur geologi tertentu. Oleh karena itu, mengenali potensi permasalahan stabilitas lereng pada tahap awal sebuah kegiatan yang melibatkan pembuatan lereng merupakan hal yang sangat penting.

Keruntuhan batuan biasanya berawal dari dan mengikuti diskontinuitas-diskontinuitas yang ada pada batuan, seperti kekar (joint), rekahan (fracture), bidang perlapisan (bedding plane), sesar (fault) dan jenis-jenis retakan lain pada batuan. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa perilaku fundamental massa batuan sangat dipengaruhi oleh diskontinuitas-diskontinuitasnya.

Adapun penelitian ini meliputi analisis struktur geologi berupa analisis kinematik dan analisis berdasarkan geologi teknik dengan menggunakan metoda RMR (Rock Mass Rating) dan SMR (Slope Mass Rating) di lokasi penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia.

Kestabilan Lereng

Masalah kestabilan lereng di dalam suatu pekerjaan yang melibatkan kegiatan penggalian maupun penimbunan merupakan masalah penting, karena ini menyangkut masalah keselamatan manusia, peralatan dan bangunan yang berada di sekitar lereng tersebut. Dalam pekerjaan penambangan dengan cara tambang terbuka, lereng yang tidak mantap akan dapat mengganggu kelancaran produksi.

Di alam, tanah maupun batuan umumnya berada dalam keadaan setimbang (*equilibrium*), artinya keadaan distribusi tegangan pada tanah atau batuan tersebut dalam keadaan mantap. Apabila terhadap tanah atau batuan tersebut dikenakan suatu kegiatan seperti pengangkutan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi atau aktivitas lain yang menyebabkan terganggunya kesetimbangan, tanah atau batuan tersebut akan berusaha untuk mencapai kesetimbangan baru dengan cara pengurangan beban terutama dalam bentuk terjadinya longsoran.

Untuk menganalisis kestabilan lereng perlu terlebih dahulu diketahui system tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan serta sifat fisik dan mekanik dari tanah atau batuan tersebut. Tegangan di dalam massa batuan dalam keadaan alamiahnya adalah tegangan vertical, tegangan horizontal, dan tekanan air pori. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng adalah kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi.

Secara prinsipnya, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya, yaitu: Gaya yang membuat massa batuan bergerak (gaya penggerak) dan Gaya yang menahan massa batuan tersebut (gaya penahan). Suatu lereng akan longsor jika gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahannya. Secara matematis, kestabilan suatu lereng dapat dinyatakan dalam bentuk factor keamanan (F_k), dimana:

$$F_k = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}}$$

Klasifikasi Massa Batuan

Sistem klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating (RMR) menggunakan delapan parameter, dimana rating setiap parameter dijumlahkan untuk memperoleh nilai total dari Rock Mass Rating (RMR).

1. *Unconfined Compressive Strength*
2. *Rock Quality Designation*
3. *Joint Spacing*
4. *Joint Condition*
5. *Groundwater Condition*

Slope Mass Rating

Romana (1985) memperkenalkan suatu penyesuaian pada konsep RMR khusus untuk lereng yang dikenal dengan *Slope Mass Rating (SMR)*. *Slope Mass Rating (SMR)* diperoleh dari nilai RMR yang dikoreksi oleh faktor-faktor penyesuaian yang tergantung kepada arah relative kekar dan lereng, dan metode penggalan.

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

RMR berdasarkan proposal Bieniawski 1989 yang merupakan hasil penjumlahan 5 parameter yaitu: (i) kekuatan batuan utuh, (ii) RQD, (iii) spasi kekar, (iv) kondisi kekar, dan (v) aliran air melalui bidang lemah.

Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown

Kriteria keruntuhan Hoek-Brown pertama kali dikembangkan untuk analisa terowongan pada massa batuan terkekarkan

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s \right)^a$$

σ'_1 dan σ'_3 adalah tegangan efektif maksimum dan minimum pada saat runtuh, m_b konstanta Hoek-Brown, m untuk massa batuan, s dan a adalah konstanta yang tergantung kepada karakteristik massa batuan, dan σ_{ci} adalah nilai kuat tekan batuan utuh.

Kriteria Keruntuhan Mohr-Coloumb

Parameter geoteknik yang banyak digunakan saat ini adalah berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coloumb, sehingga perlu ditentukan kesetaraan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) untuk setiap massa batuan. Hal ini dilakukan dengan cara mencocokkan

kurva hasil perhitungan kriteria keruntuhan Hoek-Brown untuk berbagai nilai tegangan principal minimum. Nilai kohesi dan sudut geser dalam dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6m_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan mengambil data struktur kekar di lapangan (*line mapping*) yaitu pada pit Tambang Air Laya. Data tersebut kemudian diolah melalui dua metode analisis, yaitu metode kinematik dan permodelan kestabilan lereng menggunakan metode bishop.

Metode kinematik yaitu analisis tentang pergerakan massa batuan dengan merekonstruksi pergerakan yang terjadi didalam batuan akibat proses deformasi, tanpa mempertimbangkan gaya-gaya yang menyebabkannya. Pertimbangan utama dalam analisis ini yaitu kemungkinan terjadinya keruntuhan. Metode ini hanya berdasarkan pada evaluasi detail mengenai struktur massa batuan dan geometri dari bidang-bidang lemah yang dapat memberikan kontribusi terhadap ketidakstabilan lereng. Metode ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Dips.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Geologi dan Struktur Geologi

Pemetaan Geologi ini dilakukan di 4 Blok yang ada di PIT TAL yakni MT4, *Inside Dump Utara*, TAL Utara, dan Curug Pangkul. Berdasarkan hasil pemetaan geologi, daerah penelitian terbagi menjadi 4 jenis batuan, yaitu: Batupasir, Andesit, Batulempung, dan Batubara. Batupasir, berwarna abu-abu

kekuningan, berbutir halus hingga sedang, terpilah baik, ukuran butir relative seragam, bergradasi buruk, merupakan batuan dengan kekuatan menengah (*medium strong rock*) dengan UCS sekitar 25 MPa.

Andesit berwarna abu-abu keputihan, secara umum lapuk rendah, merupakan batuan dengan kekuatan kuat (*strong rock*) dengan UCS sekitar 175 MPa. Batuan ini teramati di Blok Curug Pangkul sebagai intrusi. Batulempung, berwarna abu-abu, secara umum lapuk sedang hingga tinggi, merupakan batuan dengan kekuatan lemah (*weak rock*) dengan UCS sekitar 20 MPa.



Gambar 1. Kenampakan litologi TAL Utara, tersusun oleh batupasir agak lapuk (*Slightly weathered*) di bagian atas dan Batulempung di bagian bawah



Gambar.2 Kenampakan litologi Curug pangkul, tersusun oleh batulanau, batubara, Dan Intrusi berupa Andesit.

Pemetaan Tipe Massa Batuan

Berdasarkan hasil pemetaan geologi, daerah penelitian kemudian dibagi menjadi beberapa tipe massa batuan, dimana setiap tipe massa batuan akan dihitung nilai RMRnya untuk kepentingan analisa kestabilan lereng. Pembagian tipe massa batuan ini didasarkan kepada beberapa factor seperti variasi jenis batuan, tingkat pelapukannya, dan kenampakan umum struktur geologi (kerapatan kekar dan keberadaan patahan). Deskripsi tipe massa batuan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Berdasarkan hal tersebut di atas, daerah penelitian dibagi ke dalam 4 tipe massa batuan dimana setiap tipe mempunyai ciri dan karakteristik yang berbeda. Ke-empat zona massa batuan tersebut, yaitu:

- Massa Batuan Tipe 1: Andesit, segar hingga agak lapuk (*Unweathered – Slightly Weathered*)
- Massa Batuan Tipe 2: Didominasi oleh batupasir, segar hingga agak lapuk (*slightly weathered*).
- Massa Batuan Tipe 3: Didominasi oleh batupasir, lapuk sedang (*Moderately Weathered*).
- Massa Batuan Tipe 3: Didominasi oleh batulempung, lapuk sedang hingga tinggi (*Highly Weathered*).

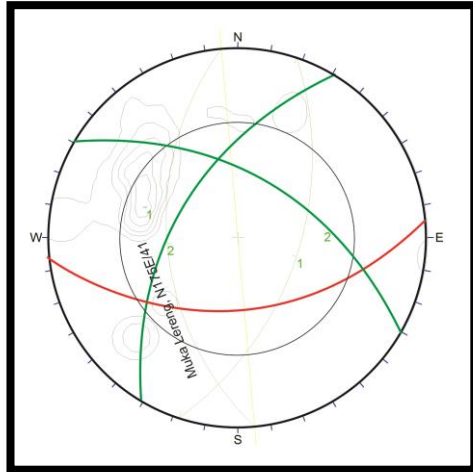
Analisis Stereografis

Data yang berupa bidang perlapisan dan bidang kekar diperoleh dengan melakukan pengukuran arah kemiringan (*dip/dip direction*) bidang perlapisan dan bidang kekar dengan menggunakan kompas geologi dan rol meter.

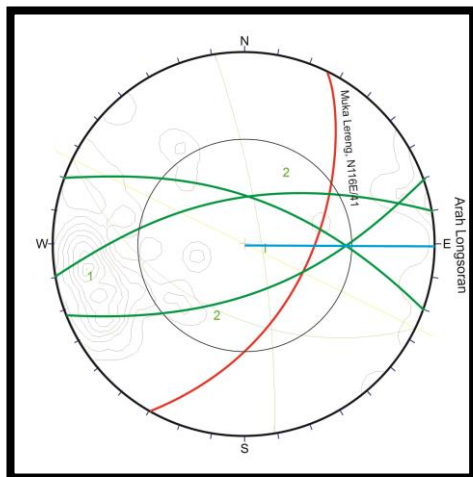
Analisis kekar dilakukan untuk mengetahui arah umum dan kemiringannya serta untuk memperkirakan jenis dan potensi longsoran yang mungkin terjadi pada suatu lereng. Pada penelitian ini pengukuran kekar dilakukan di 4 lokasi dimana terdapat perbedaan tipe massa

batuan. Lokasi pengukuran dapat dilihat pada Tabel IV.2

Berdasarkan Gambar 3 hingga 5 dapat disimpulkan antara lain:



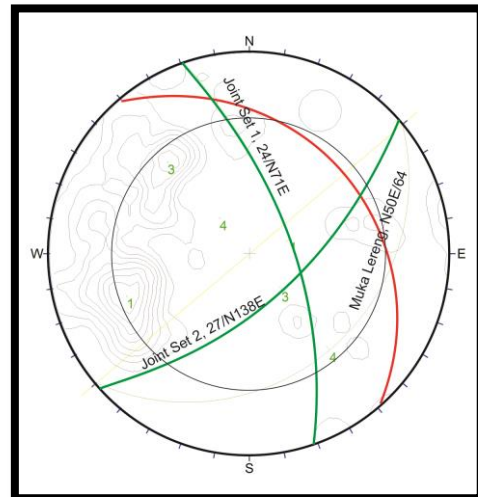
Gambar 3. Hubungan Jenjang Gali, Pola Kekar dalam Blok Inside Dump Utara Pada Stereonet



Gambar 4. Hubungan Jenjang Gali, Pola Kekar dalam MT4 Pada Stereonet

1. Lokasi 1, terletak di lereng Inside Dump Utara. Pengukuran dilakukan pada lereng batulanau. Arah jenjang gali d/dd $41^{\circ}/N175^{\circ}E$. Hanya terdapat 1 keluarga kekar dengan arah $30^{\circ}/N30^{\circ}E$, $35^{\circ}/N302^{\circ}E$ serta kekar acak (random). Berdasarkan hasil

proyeksi stereografi pada Gambar 3, terlihat bahwa perpotongan 2 bidang kekar yang terjadi, berada di luar daerah antara jenjang gali dan sudut geser dalam. Hal ini berarti bahwa kekar yang berkembang di daerah tersebut tidak menunjukkan jenis longsoran tertentu.



Gambar 5. Hubungan Jenjang Gali, Pola Kekar dalam Blok TAL Utara Pada Stereonet

2. Lokasi 2, terletak di lereng MT4. Pengukuran dilakukan pada lereng batulanau. Arah jenjang gali d/dd $64^{\circ}/N50^{\circ}E$. Terdapat 2 keluarga kekar dengan arah $24^{\circ}/N20^{\circ}E$, $32^{\circ}/N160^{\circ}E$ dan $27^{\circ}/N350^{\circ}E$ serta kekar acak (random). Berdasarkan hasil proyeksi stereografi pada Gambar 4, ketiga bidang keluarga kekar tersebut membentuk titik perpotongan bidang kekar yang berada di antara jenjang gali dan sudut geser dalam. Hal tersebut menunjukkan bahwa lereng tersebut mempunyai potensi ketidak mantapan. Berdasarkan bentuk perpotongan bidang-bidang kekar tersebut, di daerah ini berpotensi membentuk longsoran bidang dengan arah $N173^{\circ}E$ (berdasarkan Hoek dan Bray, 1980).

3. Lokasi 3, Terletak di lereng TAL Utara. Pengukuran dilakukan pada lereng batulanau. Arah jenjang gali d/dd $41^{\circ}/N116^{\circ}E$. Hanya terdapat 1 keluarga kekar dengan arah $10^{\circ}/N81^{\circ}E$ serta kekar acak (random). Berdasarkan hasil proyeksi stereografi pada Gambar 5, terlihat bahwa perpotongan 2 bidang kekar yang terjadi, berada di luar daerah antara jenjang gali dan sudut geser dalam. Hal ini berarti bahwa kekar yang berkembang di daerah tersebut tidak menunjukkan jenis longsoran tertentu.

Penentuan Parameter Geomekanika

Parameter geomekanika yang dibutuhkan dalam analisis kestabilan lereng didasarkan pada kriteria keruntuhan Hoek-Brown edisi 2002. Parameter-parameter masukan untuk analisis karakteristik massa batuan berupa konstanta m_b , a , s , dan hasil uji uniaksial (UCS) dari laboratorium. Hoek dkk. (1995), juga memperkenalkan hubungan antara GSI (*Geological Strength Index*) dengan m_b , a , s .

Dengan nilai GSI, kemudian dihitung konstanta m_b , a , dan s yang merupakan fungsi dari GSI. Dalam perhitungan konstanta-konstanta tersebut, Hoek, 2002 mempertimbangkan pula adanya factor kerusakan (*disturbance factor*) yang disebabkan oleh factor peledakan dan pelepasan tegangan (*stress relief*) akibat lepasnya overburden.

Setelah nilai GSI diperoleh, selanjutnya dicari konstanta massa batuan m_b , a , dan s dengan memasukan nilai-nilai GSI, m_i , dan D ke dalam persamaan 3.18 hingga 3.20, sehingga diperoleh kriteria keruntuhan Hoek-Brown (2002). Karena analisis kestabilan lereng yang dilakukan berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coloumb, maka dilakukan perhitungan kesetaraan nilai c dan ϕ untuk setiap tipe massa batuan dengan cara pencocokan kurva hasil kriteria keruntuhan Hoek-

Brown (2002) dengan kriteria Mohr-Coloumb. Nilai dari hasil perhitungan kriteria keruntuhan ini dapat dilihat pada lampiran 2.

Analisis Kestabilan Lereng

Untuk menganalisis kestabilan lereng di daerah ini telah ditentukan 9 penampang lereng. Semua penampang tersebar secara merata disepanjang jenjang gali. Pada penilitan ini, analisis kestabilan lereng dibagi menjadi 3 bagian, yaitu analisis kestabilan lereng *existing*, analisis perubahan geometri lereng dan simulasi kestabilan lereng tipe massa batuan. Parameter geomekanika yang dipakai adalah parameter geomekanika berdasarkan kriteria keruntuhan Hoek dan Brown (2002).

Permodelan Lereng Existing

Analisis kestabilan lereng *existing* adalah analisis kestabilan terhadap lereng desain awal dari PT. Pamapersada Nusantara. Lereng di desain dengan ketinggian jenjang 10m, lebar berm 5m, kemiringan lereng tunggal antara 45° - 65° dan kemiringan lereng keseluruhan 45° . Parameter geomekanika yang digunakan dalam permodelan lereng *existing* dapat dilihat pada Lampiran 2.

Berdasarkan Lampiran 3, dapat dilihat bahwa lereng existing pada daerah Inside Dump Utara dan TAL Utara berada dalam keadaan aman dengan faktor keamanan antara 1.362 – 1.97. Sedangkan lereng existing pada daerah MT4 berada dalam keadaan tidak aman dengan nilai faktor keamanan antara 1.19 – 1.481. longsoran intensif terjadi pada massa batulempung, hal ini sesuai dengan masalah kestabilan lereng yang terjadi di PIT Tambang Air Laya dimana retakan dan longsoran selalu terjadi pada massa batulempung.

Permodelan Perubahan Geometri Lereng

Permodelan perubahan geometri lereng adalah analisis kestabilan terhadap geometri lereng hasil revisi yang memiliki Faktor Keamanan kurang dari 1.25. Pada lereng hasil revisi, ketinggian jenjang (*bench*) didesain tetap 10m, kemiringan lereng tunggal diubah menjadi 30°, lebar berm 5m dan kemiringan lereng keseluruhan menjadi sekitar 25°.

Contoh perhitungan kestabilan lereng hasil revisi dapat dilihat pada Lampiran 8 Hasil dari analisis perubahan geometri lereng ditabulasikan pada Lampiran 6. Perhitungan kestabilan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Berdasarkan Lampiran 6, dapat dilihat bahwa geometri lereng hasil revisi dengan kemiringan lereng menjadi lebih landai, berada dalam kondisi aman dengan $F_k \geq 1.25$.

Simulasi Permodelan Lereng

Simulasi kestabilan lereng berdasarkan tipe massa batuan dilakukan bertujuan untuk mengetahui tinggi lereng dan sudut lereng maksimum yang dibentuk oleh suatu massa batuan yang memberikan nilai factor keamanan yang cukup aman.

Simulasi ini dilakukan dengan cara mencoba-coba (*trial and error*) berbagai kombinasi antara tinggi lereng dengan sudut lereng yang dibentuk oleh suatu tipe massa batuan sehingga dapat diketahui factor keamanannya untuk setiap geometri lereng.

Berdasarkan hasil simulasi ini, kemudian dibuat grafik yang merupakan hubungan antara ketinggian lereng dan sudut lereng dari suatu tipe massa batuan sehingga berdasarkan grafik tersebut dapat ditentukan geometri lereng stabil untuk suatu tipe massa batuan.

Kesimpulan dan Saran

1. Berdasarkan tipe massa batuan, daerah penelitian dibagi kedalam 4 tipe massa batuan, yaitu: massa batuan tipe 1 (Andesit), massa batuan tipe 2 (batupasir agak lapuk), massa batuan tipe 3 (batupasir lapuk sedang), massa batuan tipe 4 (batulempung lapuk sedang).
2. Kualitas setiap tipe massa batuan adalah: massa batuan tipe 1 dengan kualitas sangat baik (RMR 92), massa batuan tipe 2 dengan kualitas sangat baik (RMR 80), massa batuan tipe 3 dengan kualitas baik (RMR 50 – 70), dan massa batuan tipe 4 dengan kualitas sedang (RMR 44 - 62).
3. Hasil analisis terhadap lereng *existing* memperlihatkan bahwa lereng MT4 berada dalam keadaan tidak aman dengan F_k antara 1.19 – 1.248. sedangkan lereng *Inside Dump Utara* dan Lereng TAL Utara berada dalam keadaan aman dengan nilai F_k lebih dari 1.25.
4. Hasil simulasi terhadap kestabilan lereng berdasarkan tipe massa batuan memperlihatkan bahwa semakin baik kualitas suatu massa batuan, semakin maksimal geometri lereng (tinggi dan sudut lereng) yang bisa dibentuk. Massa batuan tipe 2 dapat dibentuk hingga kemiringan lereng 80° sedangkan massa batuan tipe 4 dapat dibentuk hingga kemiringan lereng 40°.
5. Penanggulangan lereng MT4 dengan nilai $F_k < 1.25$ perlu dilakukan perubahan geometri lereng untuk mencapai nilai $F_k \geq 1.25$. Ketinggian jenjang (*bench*) didesain tetap 10m, ketinggian lereng tunggal diubah menjadi 30°, lebar berm 5m dan

- kemiringan lereng keseluruhan menjadi sekitar 25° .
6. Dalam perhitungan kestabilan lereng dilakukan dengan asumsi lereng jenuh dengan air. Untuk lebih tepatnya perlu dilakukan pengamatan muka air tanah dengan piezometer sehingga diketahui elevasi muka air tanah yang sebenarnya dilapangan.
 7. Simulasi kestabilan lereng diterapkan pada tipe massa batuan dengan nilai RMR yang terbatas sehingga grafik penentuan lereng stabil hanya terbatas pada 4 tipe massa batuan dengan 4 nilai RMR. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap massa batuan dengan nilai RMR yang lebih bervariasi sehingga akan didapatkan grafik yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Barton, N.R. dan Choubey, V, 1990. *"The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice"*, Rock Mechanics, vol. 10.
- Bieniawski, ZT., 1973. *"Engineering Classification of Jointed Rock Mass"*, Transaction of the South African Institution of Civil Engineering.
- Bieniawski, ZT., 1979. *"The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application"*, Proceeding 4th International Congress of Rock Mechanics, ISRM, Momtreux, 2, 41-48.
- Bieniawski, ZT., 1989. *"Engineering Rock Mass Classification"*, John Willey & Sons.
- Bishop, AW., 1955. *"The Use of the Slip Circle in the Stability of Slopes"*, Geotechnique, 5, 7-17.
- Goodman, R. E., 1989. *"Introduction To Rock Mechanics"*, 2nd Edition, John Willey & Sons, New York.
- Hoek, E., dan Brown, ET., 1997. *"Practical Estimates of Rock Mass Strength"*, International Journal Rock Mechanics and Mining Science, 34(8), 1165-1186.
- Hoek, E., dan Bray, JW., 1980. *"Rock Slope Engineering"*, 3rd Edition, IMM, London.
- Laubscher, DH., 1990. *"A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design"*, Journal South Africa Institute of Mining and Metalurgy.
- Lesmana, Tonny., 2008. Kajian Klasifikasi Massa Batuan Terhadap Stabilitas Lereng dan Penentuan Kekuatan Jangka Panjangnya. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Priest, SD., dan Hudson, JA., 1967. *"Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Survet."*, International Journal of Rock Mechanics and Mineral Science and Geomechanics, vol. 18, 183-197.
- Vutukury, VS. dan Katsuyama, K., 1994. *"Introduction to Rock Mechanics"*, Industrial Publishing & Consulting, Inc.

Parameter		Tipe Massa Batuan			
		Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4
Kekuatan Batuan Utuh (UCS)	Nilai (Mpa)	100-250	25-50	25-50	10-25
	Peringkat	15	4	4	2
Rock Quality Designation (RQD)	Nilai (%)	99.98	99.8	98.6	95.73
	Peringkat	20	20	20	20
Jarak Antar Bidang Diskontinyu	Jarak (m)	>2	>2	0.2-0.6	0.2-0.6
	Peringkat	20	20	10	10
Kondisi Bidang Diskontinyu	Kekasaran permukaan	Permukaan kekar kasar	Permukaan kekar kasar	Permukaan kekar kasar	Permukaan kekar kasar
	Kemenrusan, spasi, dan tingkat pelapukan	bukaan <1mm, dindingnya segar, terdapat oksida besi	bukaan rapat, dindingnya segar	bukaan <1mm, dindingnya segar	bukaan <5mm, dindingnya segar
Kondisi Air Tanah	Peringkat	25	30	25	18
	Aliran (l/m)	Kering	Kering	Kering	Kering
Arah/kemiringan Bidang Diskontinyu	Peringkat	15	15	15	15
	Arah jurus dan kemiringan bidang diskontinyu terhadap arah galiran	Arah jurus bidang diskontinyu (N50°E) relatif searah dengan arah galian lereng (N5°E) dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 70°	Arah jurus bidang diskontinyu (N121°E) relatif searah dengan arah galian lereng (N175°E) dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 85°	Arah jurus bidang diskontinyu (N110°E) relatif searah dengan arah galian lereng (N175°E) dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 86°	Arah jurus bidang diskontinyu (N109°E) relatif searah dengan arah galian lereng (N175°E) dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 76°
RMR	Peringkat	-10	-10	-10	-10
	Peringkat	95	89	74	55
RMR	Kelas	I	I	2	3
	Deskripsi	Very Good	Very Good	Good	Fair
Parameter Geomekanika	Kohesi (kPa)	>0.4	>0.4	0.3-0.4	0.2-0.3
	Sudut Geser Dalam (°)	> 45°	> 45°	35° - 45°	25° - 35°

Lampiran 1. Kelas massa batuan setiap tipe massa batuan berdasarkan RMR (Bieniawski, 1989)

Tipe Massa Batuan	RMR	GSI	UCS (mPa)	mi	D	Tinggi Lereng (m)	c (MPa) Massa Batuan	ϕ Massa Batuan
Tipe 1	92	95	75	25	0.7	Min: 10	Min: 1.759	Min: 58.84
						Max: 100	Max: 2.382	Max: 66.72
							Avg: 2.0705	Avg: 62.78
Tipe 2	80	59 - 60	25	17	0.7	Min: 10	Min: 0.194	Min: 40.78
						Max: 100	Max: 0.616	Max: 56.8
							Avg: 0.405	Avg: 48.79
Tipe 3	50 - 70	45 - 61	25	17	0.7	Min: 10	Min: 0.111	Min: 34.41
						Max: 100	Max: 0.632	Max: 57.09
							Avg: 0.3715	Avg: 45.75
Tipe 4	44 - 62	37 - 45	13	4	0.7	Min: 10	Min: 0.046	Min: 16.02
						Max: 100	Max: 0.195	Max: 34.16
							Avg: 0.1205	Avg: 25.09

Lampiran 2. Parameter Geomekanik Berdasarkan Hoek-Brown (2002)

Penampang	Material Pembentuk Lereng	Faktor Keamanan		Keterangan
		Lereng	Lereng	
		Keseluruhan	Batulempung	
MT4-1	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.206	1.424	Tidak Aman
MT4-2	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.19	1.472	Tidak Aman
MT4-3	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.248	1.481	Tidak Aman
IDU-1	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.534	1.713	Aman
IDU-2	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.362	1.619	Aman
IDU-3	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.376	1.683	Aman
TALUT-1	Batupasir tipe2 dan batupasir tipe 3	1.803	-	Aman
TALUT-2	Batupasir tipe2 dan tipe 3, Batulempung tipe 4	1.456	1.908	Aman
TALUT-3	Batupasir tipe 3, Batulempung tipe 4	1.645	1.97	Aman

Lampiran 3. Hasil analisis kestabilan lereng *existing*

Penampang	Material Pembentuk Lereng	Faktor Keamanan		Keterangan
		Lereng	Lereng	
		Keseluruhan	Batulempung	
MT4-1	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.413	1.806	Aman
MT4-2	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.294	1.539	Aman
MT4-3	Batupasir tipe3, Batulempung tipe 4, Batubara	1.256	1.461	Aman

Lampiran 4. Hasil analisis perubahan geometri lereng

Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk
30	30	5.154	60	30	4.199
30	40	4.447	60	40	3.507
30	50	3.927	60	50	3.122
30	60	3.504	60	60	2.772
30	70	3.066	60	70	2.452
30	80	2.79	60	80	2.138
40	30	4.739	70	30	3.817
40	40	4	70	40	3.259
40	50	3.575	70	50	2.923
40	60	2.925	70	60	2.552
40	70	2.833	70	70	2.33
40	80	2.468	70	80	1.997
50	30	4.373			
50	40	3.714			
50	50	3.293			
50	60	2.927			
50	70	2.618			
50	80	2.291			

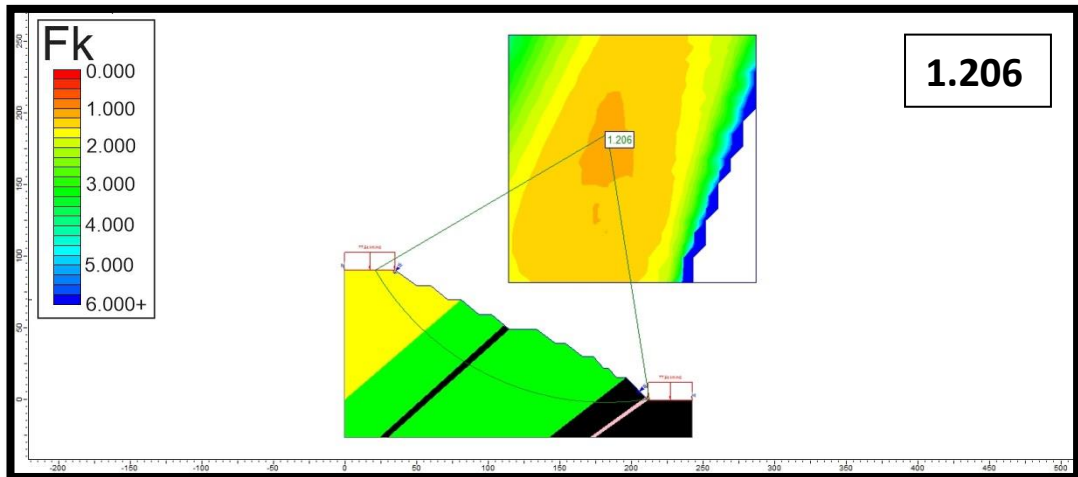
Lampiran 5. Hasil simulasi kestabilan lereng massa batuan tipe 2

Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk
30	30	4.08	60	30	3.388
30	40	3.487	60	40	2.876
30	50	3.065	60	50	2.56
30	60	2.725	60	60	2.26
30	70	2.351	60	70	1.992
30	80	2.138	60	80	1.734
40	30	3.787	70	30	3.234
40	40	3.175	70	40	2.748
40	50	2.821	70	50	2.458
40	60	2.476	70	60	2.135
40	70	2.215	70	70	1.936
40	80	1.925	70	80	1.662
50	30	3.514			
50	40	2.973			
50	50	2.619			
50	60	2.323			
50	70	2.064			
50	80	1.794			

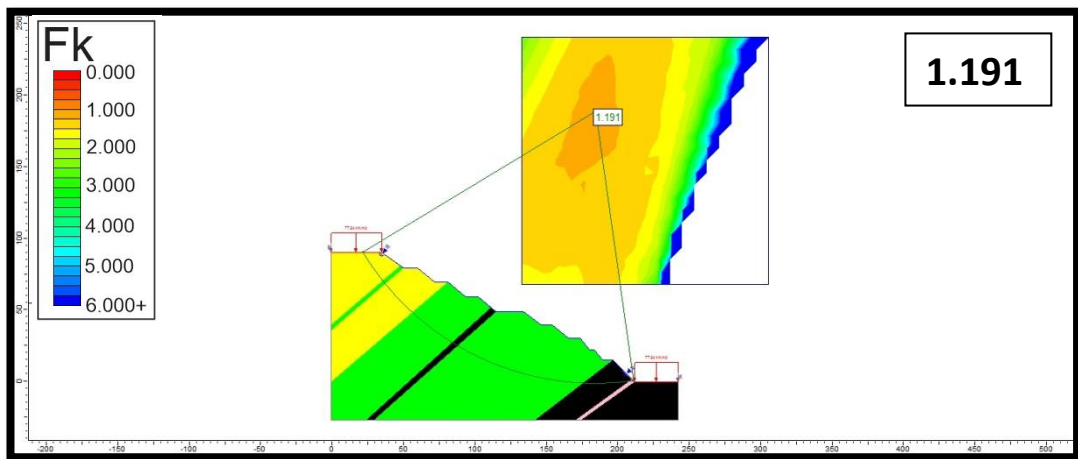
Lampiran 6. Hasil simulasi kestabilan lereng massa batuan tipe 3

Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Fk
30	30	1.524	60	25	1.325
30	40	1.293	60	30	1.181
30	45	1.19	60	40	0.954
30	50	1.13	60	50	0.796
40	30	1.386	70	25	1.335
40	35	1.356	70	30	1.097
40	40	1.153	60	40	0.895
40	50	0.966	60	50	0.745
50	25	1.433			
50	30	1.265			
50	35	1.127			
50	50	0.869			

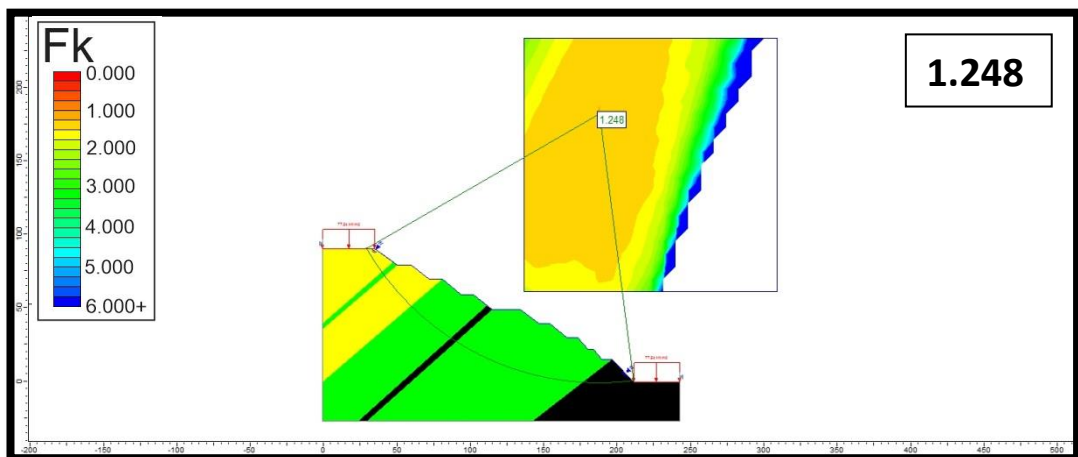
Lampran 7. Hasil simulasi kestabilan lereng massa batuan tipe 4



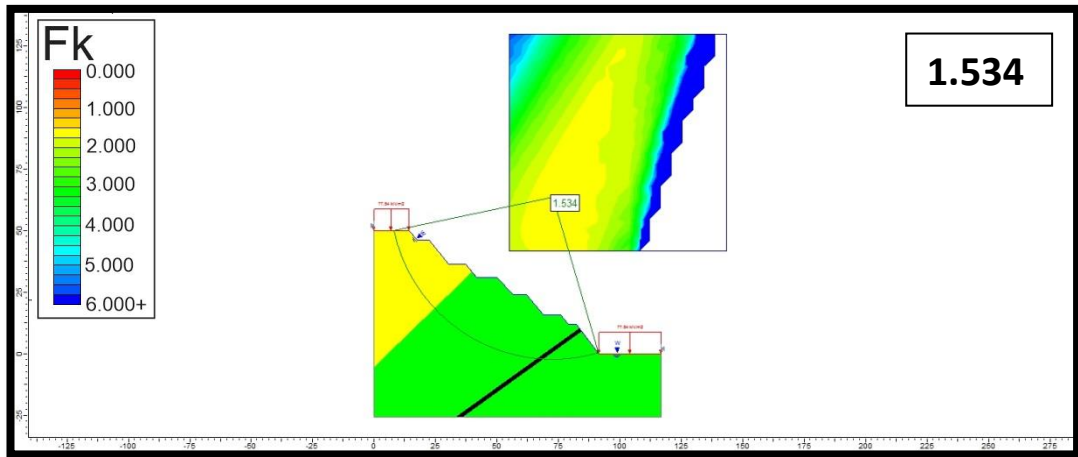
Kestabilan lereng desain MT4-1



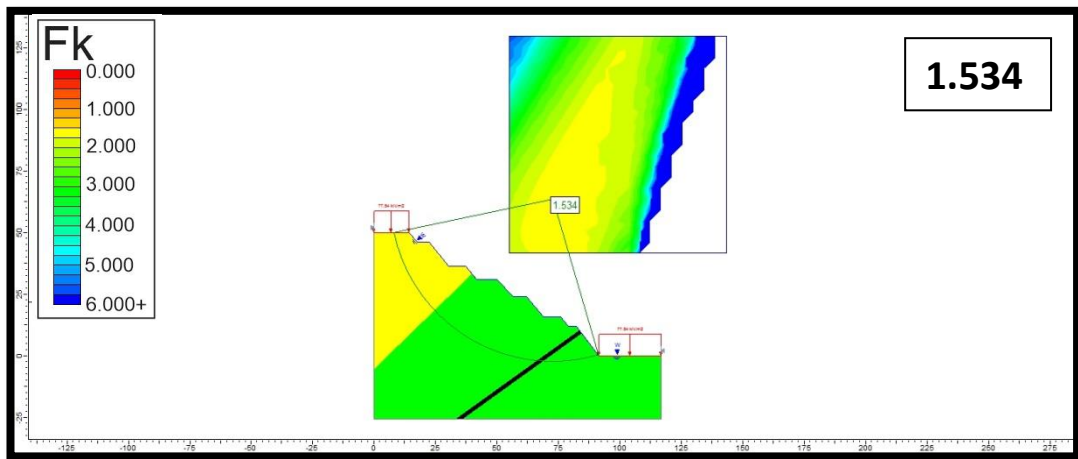
Kestabilan lereng desain MT4-2



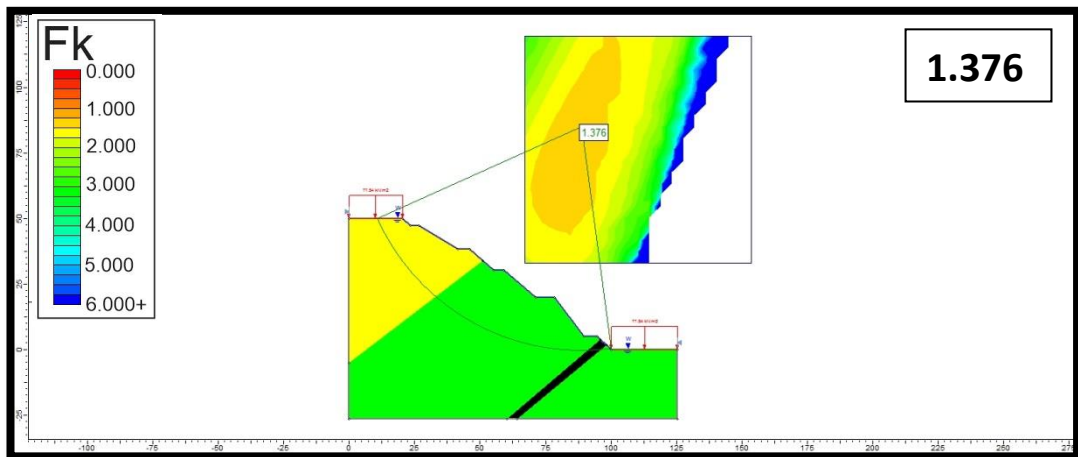
Kestabilan lereng desain MT4-3



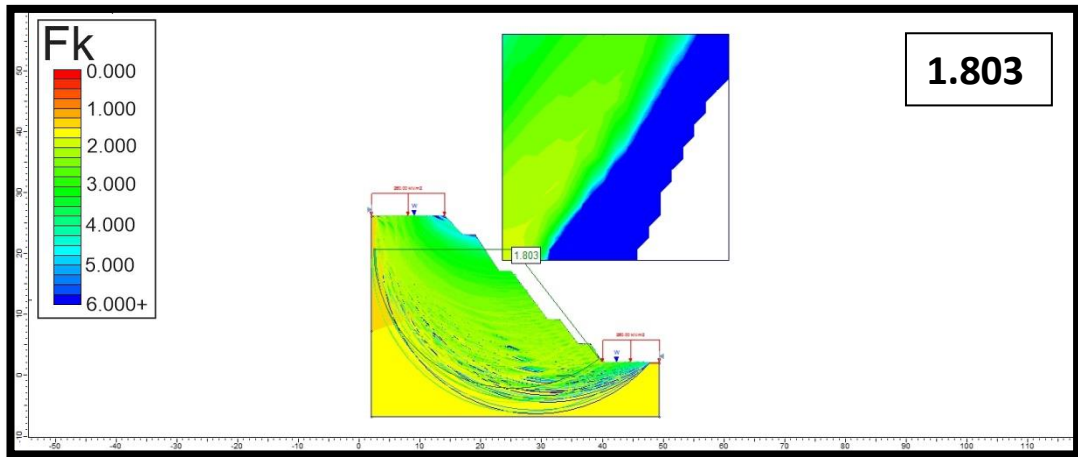
Kestabilan lereng desain *Inside Dump Utara -1*



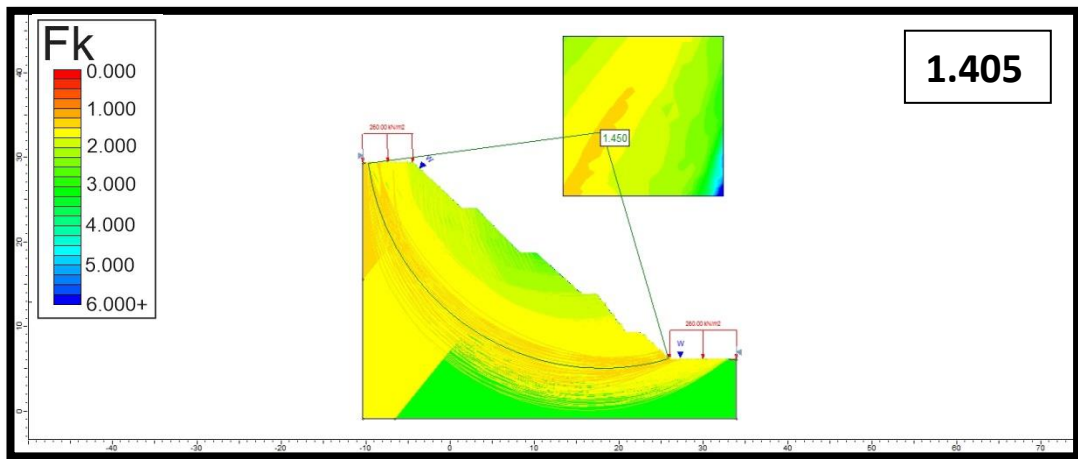
Kestabilan lereng desain *Inside Dump Utara -2*



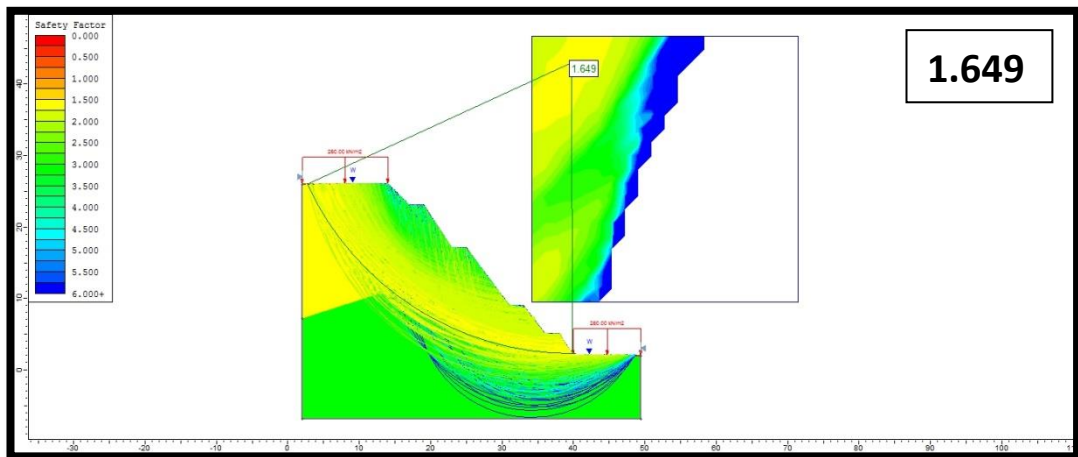
Kestabilan lereng desain *Inside Dump Utara -1*



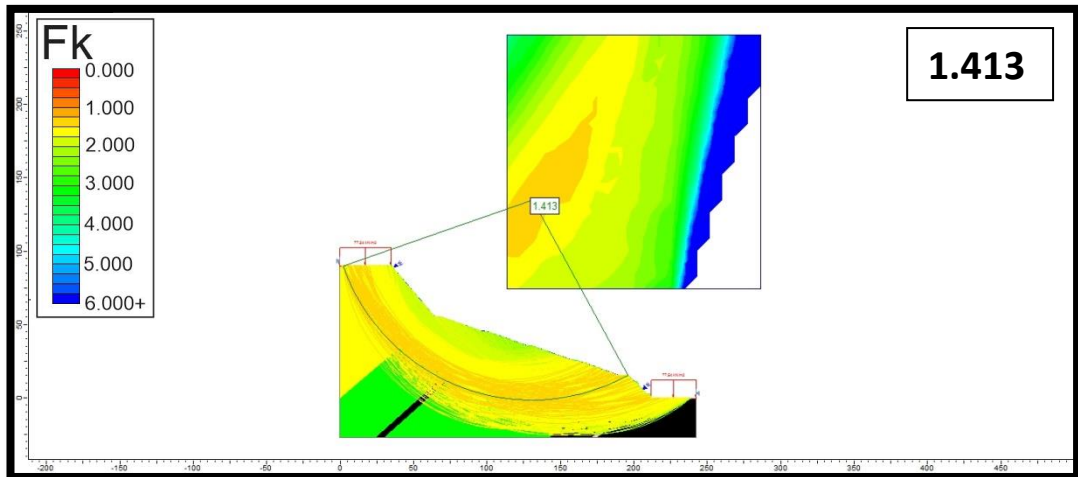
Kestabilan lereng desain TALUT-1



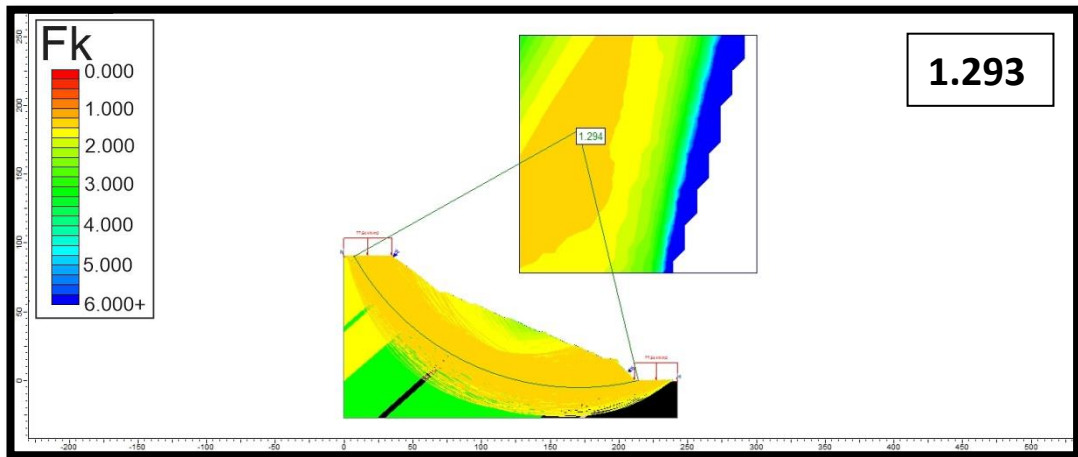
Kestabilan lereng desain TALUT-2



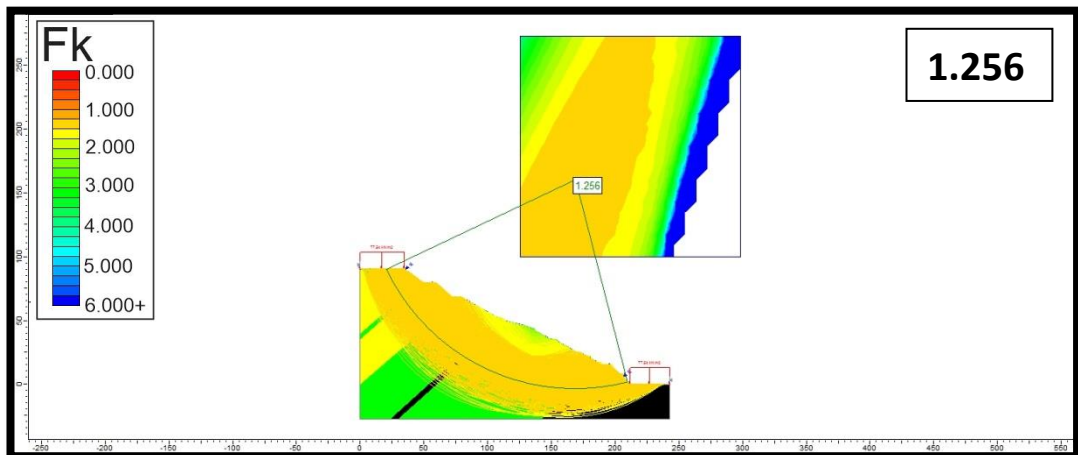
Kestabilan lereng desain TALUT-3



Kestabilan lereng revisi desain MT4-1



Kestabilan lereng revisi desain MT4-2



Kestabilan lereng revisi desain