

Analisis kestabilan lereng berdasarkan nilai UCS dan GSI massa batuan yang dipengaruhi beban gempa

Iskandar Yasin¹, Widarto Sutrisno¹, Tegar Rahmad Julendi^{1,*}, Nursyafa Muzakar Yusuf¹, dan Veisa Yahya Nuralviyantyas¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Slope stability
RMR
GSI
Safety factor
Seismic Load

Corresponding Author:

Tegar Rahmad Julendi*
rahmadjulendi@gmail.com

Abstract

Construction with earth (rock) excavation work requires good design because the excavation sides will be slopes. The Safety Factor (SF) of the slopes is influenced by several factors, one of which is the Geological Strength Index (GSI), Uniaxial Compressive Strength (UCS) and also the earthquake load. The study aims to find out the GSI values based on Hoek- Brown classification, the SF on slopes using earthquake load, and the relationship of the value of GSI with SF using seismic load. The method used in this study is the Bishop method in the limit equilibrium method. The Rock Mass Rating (RMR) stone is obtained from classification based on the conditions of the rocks at the observation site. The GSI value obtained from the equation is the first location is 61, second location is 47, and third location is 60. The value of the SF using the earthquake coefficient (K_h) at the first location is 2,18, second location is 1,77, and third location is 2,22. The SF value obtained is strongly influenced by the GSI value with higher GSI values tending to be followed by higher SF values. However, the increase in the GSI values is unstable for SF, where in the second simulation the SF values increased 16,9% from the first simulation, while in the fifth simulation SF values increased 25,1% then the fourth simulation.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Perencanaan infrastruktur dengan elevasi tanah yang tidak merata menjadi suatu permasalahan dalam proses pelaksanaan konstruksi. Untuk mendapatkan kondisi permukaan tanah sesuai dengan rencana memerlukan beberapa langkah yang perlu dilakukan, salah satunya dengan metode *cut and fill* atau penggalian dan penimbunan di area yang memerlukan adanya penyesuaian elevasi permukaan tanah sesuai rencana (Amanullah dan Sofian, 2017). Perencanaan yang matang diperlukan dalam proyek konstruksi yang melibatkan pekerjaan galian tanah (batuan), karena pembentukan lereng pada sisi-sisi galian tersebut dapat menyebabkan gaya lateral dan gaya

vertikal bekerja pada tanah, yang berpotensi menyebabkan deformasi (sesuai dengan SNI-8460-2017). Untuk memastikan suatu konstruksi yang aman dan nyaman, analisis keamanan lereng menjadi tahapan yang penting dalam proses perencanaan.

Metode umum dalam menganalisis stabilitas lereng adalah metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Metode ini memanfaatkan analisis lereng dengan mempertimbangkan jenis gelincir translasional dan rotasional, yang dianggap lebih sederhana dan mudah digunakan. Keandalan metode ini telah terbukti selama bertahun-tahun, sebagaimana disampaikan oleh Arif pada tahun 2016. Dengan menggunakan

bantuan dari perangkat lunak yang menggunakan prinsip metode kesetimbangan batas maka dapat mempermudah dan mempercepat dalam proses analisis kestabilan lereng dengan akurat dalam waktu yang singkat.

Faktor Keamanan (FK) merupakan parameter kritis yang mencerminkan seberapa baik stabilitas lereng dapat dipertahankan. Penilaian *Geological Strength Index* (GSI) dan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) menjadi penting dalam mengidentifikasi kekuatan geologis dan kompresi uniaxial material batuan, memungkinkan evaluasi yang lebih akurat terhadap stabilitas lereng. Salah satu penelitian sebelumnya, oleh Anggita dkk. (2018) melakukan penelitian terkait dengan metode analisis *Morgenstern-Price* dalam menghitung nilai faktor keamanan. Hasil dari penelitiannya, nilai faktor keamanan pada sayatan A-A1 dalam kondisi kritis ($1,25 < X < 1,00$), sedangkan pada sayatan B-B1 faktor keamanannya dalam kondisi aman. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan litologi, nilai UCS, dan GSI pada kedua sayatan. Maka dari itu, dilakukan penelitian terkait hasil nilai faktor keamanan suatu lereng dengan berdasarkan nilai GSI dan UCS dalam merencanakan suatu lereng.

Pengamatan ini dilakukan di Daerah Planjan, Saptosari, Gunung Kidul, Yogyakarta. Lokasi tersebut direncanakan akan dibangun jalan dengan desain rencana menggali bukit untuk menyesuaikan elevasi permukaan tanah sesuai dengan rencana. Bukit yang direncanakan akan digali merupakan batuan jenis gamping kristalin atau *limestone crystalline*.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi GSI massa batuan, mengetahui faktor keamanan pada setiap lereng, dan menganalisis perbedaan nilai faktor keamanan lereng berdasarkan GSI massa batuan dengan adanya beban gempa.

Hipotesis dari penelitian ini adalah nilai GSI massa batuan akan berpengaruh terhadap faktor keamanan suatu lereng dalam menahan beban gempa. Suatu lereng dengan nilai GSI yang semakin tinggi akan berpengaruh positif terhadap kestabilan lereng batuan.

Studi Pustaka

Maharza, dkk. (2022), meneliti dampak nilai UCS dan GSI terhadap kestabilan lereng. Simulasi menunjukkan bahwa kenaikan GSI lebih signifikan dalam memperbaiki faktor keamanan lereng, meskipun nilai UCS menunjukkan stabilitas yang konsisten.

Wijaya, dkk. (2018) penelitian ini memanfaatkan metode GSI untuk mengestimasi nilai GSI menggunakan parameter *Surface Condition Rating* (SCR) serta *Structure Rating* (SR), dengan batuan berongga berupa batugamping sebagai objek observasi. Nilai GSI yang tercatat berada dalam rentang 32-37, menunjukkan bahwa kondisi massa batuan tersebut dapat diklasifikasikan sebagai buruk, menimbulkan kekhawatiran terkait stabilitasnya.

Saptono, dkk. (2020) dengan klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dan GSI, modifikasi persamaan GSI Hoek & Brown (1997) diterapkan di tambang batu bara. Hasilnya, nilai GSI dihitung dengan rumus $GSI = RMR - 8$, memberikan wawasan mendalam tentang karakteristik kekuatan batuan.

Penelitian oleh Syamsuri, dkk. (2022) menggunakan metode empiris melalui observasi lapangan untuk mengestimasi bahaya bencana dan risiko geoteknik. Estimasi ini didasarkan pada analisis kekuatan massa batuan dan aspek geologi di lokasi penelitian. Hasil penelitian dengan melalui perhitungan berbagai parameter seperti SR dan SCR didapatkan nilai GSI sekitar 45. Kondisi massa batuan tersebut termasuk ke dalam kondisi sedang. Penelitian ini hanya mendapatkan hasil berupa nilai GSI sebagai patokan

untuk menentukan potensi bahaya geoteknik pada lokasi dan tidak menghitung nilai faktor keamanan.

Pratiwi, dkk. (2022) meneliti dengan menggunakan pendekatan kriteria keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb. Dalam penelitian ini membandingkan kedua metode untuk mengetahui tingkat efisiensi dalam penggunaannya untuk menganalisis suatu lereng batuan. Klasifikasi massa batuan dilakukan dengan menggunakan sistem RMR dan GSI. Hasil analisis yang didapatkan menunjukkan seberapa banyak perbedaan faktor keamanan antara model Hoek-Brown dan Mohr Coulomb yang tidak signifikan, dimana nilai perbedaan paling besar hanya sebesar 10%.

Shobari, dkk. (2019) penelitian ini berkaitan dengan hubungan koefisien gempa horizontal (K_h) terhadap nilai faktor keamanan. Dalam penelitiannya, menggunakan metode Bishop dengan melakukan analisis kestabilan lereng pada kondisi *static* dan *pseudostatic*. Koefisien K_h didapatkan dari 50% dari nilai Perhitungan Percepatan Gempa (PGA) yang selanjutnya digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Nilai PGA yang diterapkan dalam analisis ini merujuk pada standar Kementerian Pekerjaan Umum, dengan nilai PGA_M yang ditetapkan sebesar 0,36 g dan 0,43 g. Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan beban gempa dalam bentuk nilai koefisien gempa (K_h) menyebabkan penurunan nilai faktor keamanan, yakni sekitar 25,76% hingga 36,83% dari nilai faktor keamanan pada kondisi statis.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi pengamatan dilakukan di Daerah Planjan, Saptosari, Gunung Kidul, Yogyakarta. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter batuan berdasarkan tabel klasifikasi diskontinu sebagai dasar untuk mendapatkan nilai

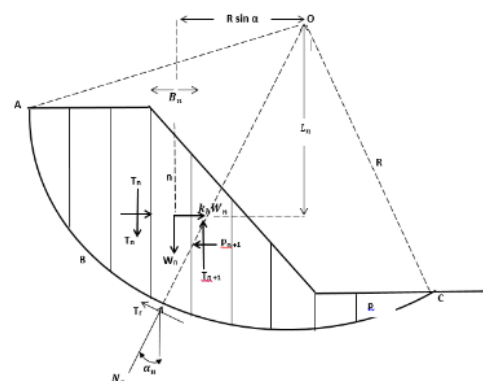
RMR. Untuk lokasi pengamatan tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengamatan

Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Dalam penelitian ini, metode Bishop dari *limit equilibrium method* digunakan dalam analisis stabilitas lereng dengan memanfaatkan perangkat lunak *Geo5*. Metode Bishop diperkenalkan oleh A.W. Bishop pada tahun 1955, di mana metode ini sering digunakan dalam analisis stabilitas lereng dengan cara potongan suatu bidang di mana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan ditunjukkan pada Gambar 2. Metode Bishop, yang dikembangkan oleh Bishop pada tahun 1955, sering digunakan dalam analisis permukaan gelincir berbentuk lingkaran dengan mengasumsikan gaya-gaya normal pada pusat alas potongan.



Gambar 2. Kelongsoran Lereng Menggunakan Koefisien Gempa (Rekzyanti, 2016 dalam Shobari, 2019)

Nilai K_h adalah koefisien horizontal gempa, W adalah luas tiap irisan, c adalah kohesi tanah, r adalah jari-jari longsor, h merupakan tinggi rata-rata irisan dan b

adalah lebar irisan. Nilai x adalah jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat moment dan α adalah sudut kemiringan.

Analisis kestabilan lereng dapat dilakukan secara *static* atau *pseudostatic*. Dalam pendekatan *static*, evaluasi dilakukan tanpa mempertimbangkan faktor gangguan luar, fokus pada kondisi tanah dan struktur lereng tanpa memasukkan efek dinamis atau gaya tambahan seperti gempa.

Sementara itu, Analisis kestabilan lereng *pseudostatic* merupakan kebalikan dari *static* dimana dalam keadaan *pseudostatic* analisis dilakukan dengan mempertimbangkan gangguan dari luar. Dalam hal ini, gempa bumi merupakan aspek getaran yang mempengaruhi faktor keamanan lereng. Salah satu ilustrasi penggunaan metode *pseudostatic* ini telah dikembangkan seperti gambar 3 (Terzaghi, 1950).

Analisis kestabilan lereng dalam keadaan *pseudostatic* memerlukan penggunaan koefisien gempa horizontal (K_h). Percepatan (K_h) dalam koefisien gempa horizontal, menurut Newmark dalam Hoek

& Bray (1981), adalah setengah dari nilai PGA, mempengaruhi gaya pseudostatic pada tanah (batuan). Departemen Pertambangan dan Geologi California (CDMG, 1997) dalam Shobari, dkk. (2019) didapatkan persamaan untuk mendapatkan nilai koefisien seismik (K_h) sebagai berikut.

$$K_h = 0,5 \frac{a_d}{g} \dots\dots\dots \text{Pers. (1)}$$

Nilai a_d merupakan percepatan gempa terkoreksi dan g adalah percepatan gravitasi (gal).

Rock Mass Rating (RMR)

Pengklasifikasian RMR didapatkan dari hasil pengamatan kondisi batuan untuk dapat mengetahui kondisi kekar dan mengklasifikasikan berdasarkan tabel kondisi bidang diskontinuitas. Penentuan RMR membutuhkan beberapa parameter, yaitu bidang diskontinu (*persistence*), kekasaran (*roughness*), lebar bukaan (*aperture*), pengisi kekar (*infilling*), dan pelapukan (*weathering*). Pengklasifikasian tiap parameter dilakukan berdasarkan klasifikasi kondisi bidang diskontinuitas Bieniawski (1989) pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi Kondisi Bidang Diskontinuitas

| Parameter | Ratings | | | | |
|---|------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| <i>Discontinuity length (presistence)</i> | <1 m 6 | 1-3 m 4 | 3-10 m 2 | 10-20 m 1 | >20 m 0 |
| <i>Sparation (aperture)</i> | None 6 | <0.1 mm 5 | 0.1-1.0 mm 4 | 1-5 mm 1 | >5 mm 0 |
| <i>Roughness</i> | Very rough 6 | Rough 5 | Sightly rough 3 | Smoth 1 | Slickensided 0 |
| <i>Infilling (gouge)</i> | None 6 | <5 mm 4 | Hard filling >5 mm 2 | Soft filling <5 mm 2 | >5 mm 0 |
| <i>Weathering</i> | Unweathered 6 | Sightly weathered 5 | Moderately weathered 3 | Highly weathered 1 | Decomposed 0 |

Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Data yang diperlukan dari uji laboratorium adalah hasil uji kuat tekan

uniaksial atau UCS, *Rock Quality Design* (RQD), dan *index properties* batuan.

Geological Strength Index (GSI)

Nilai kohesi dan sudut gesek dalam dengan didapatkan dengan berdasarkan kriteria keruntuhan Hoek & Brown, membutuhkan beberapa parameter nilai GSI, UCS, m_i , dan nilai D yang selanjutnya akan didapat nilai m_b , s dan a . Nilai GSI massa batuan ditentukan berdasarkan persamaan GSI. Nilai GSI diklasifikasikan berdasarkan tabel klasifikasi nilai GSI massa batuan Hoek & Brown 2000 untuk mengetahui kondisi batuan yang berkisar antara 0-100 dengan nilai GSI 100 dapat dikategorikan massa batuan dalam kondisi utuh (Marions & Hoek, 2005). Persamaan untuk mendapatkan nilai GSI secara kuantitatif adalah sebagai berikut:

$$GSI = 1,5 \times JCond_{89} + \frac{RQD}{2} \dots \text{Pers. (2)}$$

Analisis Kestabilan Lereng

Pada pengujian laboratorium, data yang digunakan merupakan nilai UCS, RQD, dan *index properties* dari batuan. Nilai *output* data berupa kohesi dan sudut gesek dalam yang selanjutnya akan digunakan pada perangkat lunak untuk dilakukan perhitungan kestabilan lereng. *Output* dari analisis menggunakan perangkat lunak berupa nilai faktor keamanan pada lereng tersebut. Dalam analisis pada perangkat lunak, digunakan metode Bishop dengan faktor keamanan minimum adalah $FK > 1,5$.

Hasil dan Pembahasan

Klasifikasi Rock Mass Rating (RMR)

Nilai RMR didapatkan dengan membobotkan beberapa parameter yang diperlukan, seperti kemenerusan bidang diskontinu, kekasaran, lebar bukaan, pengisi kekar, dan pelapukan. Parameter tersebut didapat dengan melakukan pengamatan pada lokasi untuk mengetahui kondisi batuan yang tertera pada Gambar 3 sampai Gambar 5.



Gambar 3. Lokasi Pengamatan Titik 1



Gambar 4. Lokasi Pengamatan Titik 2



Gambar 5. Lokasi Pengamatan Titik 3

Berdasarkan ketiga titik pengamatan, setiap titik didapatkan nilai RMR yang berbeda. Klasifikasi nilai RMR dari ketiga titik pengamatan tertera pada Tabel 2 sampai Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 2 Klasifikasi RMR Titik 1

| Parameter | Nilai | Satuan | Bobot |
|----------------------|--------------------|--------|-------|
| Discontinuity Length | 1-3 | m | 4 |
| Separation roughness | <0,1 | mm | 5 |
| Infilling | Rough | - | 5 |
| Weathering | Soft filling | mm | 2 |
| | Slightly weathered | - | 5 |
| Total Pembobotan RMR | | | 21 |

Tabel 3 Klasifikasi RMR Titik 2

| Parameter | Nilai | Satuan | Bobot |
|----------------------|--------------------|--------|-------|
| Discontinuity Length | <1 | m | 6 |
| Separation roughness | 0,1-1 | mm | 4 |
| Infilling | Rough | - | 5 |
| | Soft filling | mm | 2 |
| Weathering | Slightly weathered | - | 5 |
| Total Pembobotan RMR | | | 22 |

Tabel 4 Klasifikasi RMR Titik 3

| Parameter | Nilai | Satuan | Bobot |
|----------------------|--------------------|--------|-------|
| Discontinuity Length | <1 | m | 6 |
| Separation roughness | <0,1 | mm | 5 |
| Infilling | Rough | - | 5 |
| | Soft filling | mm | 2 |
| Weathering | Slightly weathered | - | 5 |
| Total Pembobotan RMR | | | 23 |

Data Uji Laboratorium

Dari data pengujian beberapa sampel di laboratorium menghasilkan data yang dapat digunakan untuk merencanakan suatu lereng yang aman. Beberapa parameter yang diperoleh dan digunakan dalam analisis stabilitas lereng mencakup nilai RQD, UCS, dan beberapa nilai *index properties* batuan. Terdapat 3 tipe sampel hasil uji laboratorium yang berbeda-beda untuk setiap tempat yang sampel tertera pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 7.

Tabel 5 Hasil Uji Laboratorium Titik 1

| Kedalaman (m) | UCS (MPa) | γ_{unsat} (kN/m^3) | γ_{sat} (kN/m^3) |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0-5 | 14,5 | 33,44 | 34,81 |
| 5-10 | 42,72 | 48,54 | 50,01 |
| 10-15 | 50,74 | 49,33 | 51,39 |
| 15-20 | 34,84 | 56,39 | 60,02 |

Tabel 6 Hasil Uji Laboratorium Titik 2

| Kedalaman (m) | UCS (MPa) | γ_{unsat} (kN/m^3) | γ_{sat} (kN/m^3) |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0-5 | 19,81 | 24,91 | 25,30 |
| 5-10 | 22,74 | 23,24 | 23,93 |
| 10-15 | 15,79 | 24,03 | 24,81 |
| 15-20 | 36,31 | 24,42 | 25,01 |

Tabel 7 Hasil Uji Laboratorium Titik 3

| Kedalaman (m) | UCS (MPa) | γ_{unsat} (kN/m^3) | γ_{sat} (kN/m^3) |
|---------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0-5 | 44,04 | 25,40 | 25,59 |
| 5-10 | 30,59 | 24,32 | 24,71 |
| 10-15 | 79,01 | 24,91 | 25,30 |
| 15-20 | 18,59 | 23,83 | 24,03 |

Data dari uji laboratorium di atas dibagi menjadi 4 lapis dengan setiap lapisan memiliki kedalaman 5 meter dari permukaan tanah dan kedalaman yang lebih dari 20 meter diasumsikan memiliki kondisi batuan yang sama dengan lapisan sebelumnya. Setiap lapisan memiliki data uji yang berbeda untuk nilai RQD, UCS, dan *index properties* batuanya. Perbedaan nilai dari masing-masing lapisan akan berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan dalam analisis stabilitas lereng.

Geological Strength Index (GSI)

Pengklasifikasian nilai GSI didapatkan setelah diketahui nilai RMR berdasarkan pembobotan beberapa parameter. Terdapat tiga lokasi pengamatan dengan setiap lokasi memiliki nilai GSI yang berbeda. Nilai RMR dan RQD akan berpengaruh terhadap nilai GSI, dimana semakin tinggi nilai dari kedua parameter tersebut maka nilai GSI juga akan semakin tinggi. Berdasarkan tabel klasifikasi GSI Hoek & Brown tahun 2000, massa batuan pada titik 1 dan 3 nilai GSI tergolong dalam kondisi baik dan untuk titik 2 tergolong dalam kondisi sedang sebagaimana terlihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

Tabel 8 Klasifikasi Nilai GSI Massa Batuan (Hoek & Brown, 2000)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

SURFACE CONDITIONS
VERY GOOD: Very rough, fresh unweathered surfaces
GOOD: Rough, slightly weathered, iron stained surfaces
FAIR: Smooth, moderately weathered and altered surfaces
POOR: Streaked, highly weathered surfaces with compact coatings or flings or angular fragments
VERY POOR: Highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

STRUCTURE
90
80
70
60
50
40
30
20
10
N/A

DECREASING SURFACE QUALITY

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes

Tabel 9 Klasifikasi Nilai GSI

| Lokasi | RMR | RQD | GSI |
|---------|-----|-------|-----|
| Titik 1 | 21 | 58,54 | 61 |
| Titik 2 | 22 | 28,51 | 47 |
| Titik 3 | 23 | 51,62 | 60 |

Material Properties Batuan

Setiap batuan memiliki perbedaan *Material Properties* tergantung jenis dan material penyusunnya yang akan mempengaruhi terhadap kualitas batuan. Terdapat 3 jenis batuan yang memiliki kesamaan litologi, yaitu batugamping kristalin. Dari hasil uji laboratorium, ketiga batuan tersebut memiliki nilai *material properties* yang berbeda-beda. Berikut dapat dilihat pada Tabel 10 sampai dengan Tabel 12.

Tabel 10 Parameter Material Properties Batuan dan Koefisien Gempa yang Mempengaruhi Titik 1

| Litologi | PGA (g) | Kh | Unit Weight (MN/m ³) | GSI | mi | Disturbance Factor (D) | C (kPa) | Phi (deg) |
|-----------------------|---------|--------|----------------------------------|-----|----|------------------------|---------|-----------|
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0334 | 61 | 12 | 0,7 | 133 | 53,61 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0485 | 61 | 12 | 0,7 | 340 | 57,14 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0493 | 61 | 12 | 0,7 | 395 | 57,81 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0564 | 61 | 12 | 0,7 | 295 | 55,47 |

Tabel 11 Parameter Material Properties Batuan dan Koefisien Gempa yang Mempengaruhi Titik 2

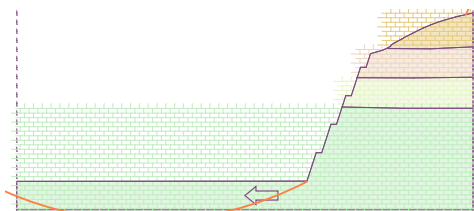
| Litologi | PGA (g) | Kh | Unit Weight (MN/m ³) | GSI | mi | Disturbance Factor (D) | C (kPa) | Phi (deg) |
|-----------------------|---------|--------|----------------------------------|-----|----|------------------------|---------|-----------|
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0249 | 47 | 12 | 0,7 | 73 | 52,62 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0232 | 47 | 12 | 0,7 | 78 | 53,88 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0240 | 47 | 12 | 0,7 | 63 | 51,43 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0244 | 47 | 12 | 0,7 | 109 | 56,23 |

Tabel 12 Parameter Material Properties Batuan dan Koefisien Gempa yang Mempengaruhi Titik 3

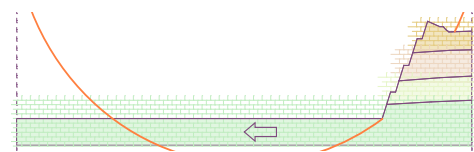
| Litologi | PGA (g) | Kh | Unit Weight (MN/m ³) | GSI | mi | Disturbance Factor (D) | C (kPa) | Phi (deg) |
|-----------------------|---------|--------|----------------------------------|-----|----|------------------------|---------|-----------|
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0254 | 60 | 12 | 0,7 | 302 | 59,53 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0243 | 60 | 12 | 0,7 | 216 | 58,47 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0249 | 60 | 12 | 0,7 | 522 | 61,44 |
| Batugamping Kristalin | 0,5365 | 0,2683 | 0,0238 | 60 | 12 | 0,7 | 141 | 56,38 |

Analisis Faktor Keamanan Dengan Beban Gempa

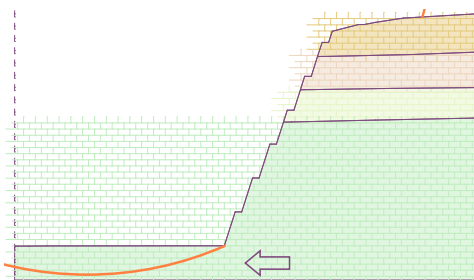
Analisis kestabilan lereng akan menghasilkan output berupa nilai faktor keamanan. Terdapat tiga tipe lereng yang dianalisa berdasarkan 5 parameter dari masing-masing lokasi. Ketiga lokasi pengamatan memiliki kesamaan litologi, yaitu bukit dengan material berupa batuan jenis batugamping. Masing-masing lokasi memiliki desain lereng yang sama dengan kemiringan 3:1 dan ketinggian menyesuaikan dengan kondisi galian yang diperlukan.



Gambar 6. Analisis Stabilitas Lereng Titik 1



Gambar 7. Analisis Stabilitas Lereng Titik 2



Gambar 8. Analisis Stabilitas Lereng Titik 3

Berdasarkan hasil analisis dari ketiga lokasi lereng yang berbeda seperti pada Gambar 6 samai Gambar 7 dengan *material properties* dan ketinggian lereng yang juga bervariasi, setiap lereng memiliki nilai faktor keamanan > 1,5. Dengan demikian, ketiga lereng dikategorikan pada kondisi yang aman, sebagaimana dijabarkan pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13 Nilai Faktor Keamanan (FK) Lereng Dengan Beban Gempa

| Lokasi | Tinggi lereng (m) | Faktor Keamanan | Keterangan |
|---------|-------------------|-----------------|------------|
| Titik 1 | 23 | 2,18 | Aman |
| Titik 2 | 18 | 1,77 | Aman |
| Titik 3 | 33 | 2,22 | Aman |

Berdasarkan Tabel 13, nilai faktor keamanan memiliki korelasi dengan nilai GSI massa batuan. Titik 1 dan 3 yang memiliki nilai GSI lebih tinggi dari titik 2 membuktikan bahwa GSI massa batuan yang baik sangat diperlukan dalam memastikan suatu lereng berada dalam kondisi aman.

Pengaruh Nilai GSI Terhadap Faktor Keamanan

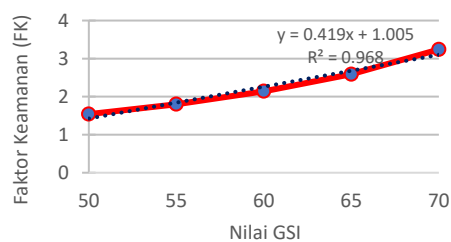
Salah satu titik pengamatan digunakan sebagai sampel untuk dilakukan simulasi terhadap kestabilan lereng dengan melakukan variasi nilai GSI. Lokasi yang dipilih untuk simulasi adalah titik ke-1. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, nilai GSI yang diperoleh sebesar 61. Nilai ini kemudian dimasukkan ke dalam tabel GSI Hoek & Brown tahun 2000 dan akan digunakan variasi nilai GSI antara 50-70. Simulasi dilakukan dengan menambahkan beban gempa dalam analisis, sehingga hasil dari analisis faktor keamanan akan dipengaruhi oleh adanya faktor gangguan luar.

Tabel 14 Hubungan GSI dan FK Lereng Menggunakan Beban Gempa

| Simulasi ke- | Variasi GSI | Faktor Keamanan | Keterangan |
|--------------|-------------|-----------------|------------|
| 1 | 50 | 1,54 | Aman |
| 2 | 55 | 1,80 | Aman |
| 3 | 60 | 2,14 | Aman |
| 4 | 65 | 2,59 | Aman |
| 5 | 70 | 3,24 | Aman |

Berdasarkan hasil simulasi, terlihat dari Tabel 14 bahwa variasi nilai GSI memiliki dampak signifikan terhadap faktor keamanan. Peningkatan nilai GSI selalu berdampak pada peningkatan nilai faktor keamanan. Meskipun demikian, kenaikan nilai GSI tidak memberikan

pengaruh yang konstan pada faktor keamanan. Nilai GSI yang semakin tinggi cenderung diikuti dengan peningkatan persentase faktor keamanan. Pada simulasi kedua terjadi peningkatan sebesar 16,9% dari simulasi pertama, sedangkan pada simulasi kelima mengalami peningkatan sebesar 25,1% dari simulasi keempat. Grafik korelasi antara nilai GSI dengan Faktor Keamanan tertera pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan Nilai GSI dan FK Dengan Menggunakan Beban Gempa

Nilai GSI sangat penting dalam rekayasa geoteknik dan berpengaruh positif terhadap faktor keamanan lereng. Analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan suatu lereng akan selalu mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai GSI massa batuan. Oleh karenanya, nilai GSI yang tinggi akan menjadi indikator faktor keamanan lereng yang baik dan aman dalam merencanakan suatu lereng sebelum untuk diaplikasikan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka didapat beberapa kesimpulan bahwa setiap titik pengamatan, nilai GSI yang didapatkan dari hasil klasifikasi RMR dan RQD memiliki perbedaan. Nilai GSI pada titik 1 adalah 61, titik 2 adalah 47, dan titik 3 adalah 60.

Setiap lereng yang direncanakan memiliki hasil analisis stabilitas dengan faktor keamanan yang berbeda-beda. Titik 1 memiliki faktor keamanan sebesar 2,18, pada titik 2 sebesar 1,77, dan pada

titik 3 sebesar 2,22, sehingga ketiga lokasi lereng dalam kondisi yang aman.

Nilai GSI memiliki korelasi yang erat dengan faktor keamanan suatu lereng. Terdapat hubungan positif antara nilai GSI dengan faktor keamanan, dimana semakin tinggi nilai GSI akan cenderung diikuti dengan nilai faktor keamanan yang semakin besar pula.

Daftar Pustaka

- Amanullah, A. Jihans, dan I. A. Sofian. (2017). *Analisa Stabilitas Lereng Galian Pada Proyek Pembangunan Tol Semarang Batang Sta 430+300*. Thesis. Universitas Islam Sultan Agung.
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Jakarta: Pustaka Utama.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI-8460-2017)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Bishop, A. W. 1955. The Use of The Slip Circle in The Stability Analysis of Slope. *Geotechnique*. 10. 129-150. Doi: 10.1680/geot.1955.5.1.7.
- Hoek, E., and Brown, E. T. (1980). *Underground Excavation in Rock*, London: Instn Min, Metall.
- Maharza, C., dkk. (2022). Pengaruh Nilai UCS dan GSI Dalam Menentukan Faktor Keamanan Lereng Batuan. *Jurnal HIMASAPTA*. 7(1). 27-32.
- Marions, P., and Hoek, E. (2000). *GSI: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation*. Australia: ISRM International Symposium.
- Marions, P. G., Marions, V., Hoek, E. (2007). The Geological Strength Index (GSI): A Characterization Tool For Assessing Engineering Properties For Rock Masses. *Geology*. <https://doi.org/10.1201/noc0415450287.ch2>
- Marions, V., Marions, P., Hoek, E. (2005). The Geological Strength Index: Application and Limitation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 64. 55-65. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0270-5>
- Pamuji, Anggita F. A., Sophian Raden, I., Muslim, Dicky. (2018). Pengaruh Geological Strength Index (GSI) Terhadap Nilai Faktor Keamanan Melalui Simulasi Kestabilan Lereng Tambang, Kecamatan

- Batu Kajang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. *Padjadjaran Geoscience Journal*. 2(6). 487-497.
- Pratiwi, S.D. Yakin, Y.A., Mahaputra, A. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D. *Jurnal Proteksi*. 4(2). 74-81.
- Rajagukguk, Octavian C.P. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta. 1000m). *Jurnal Sipil Statik*. 2(3). 139-147.
- Saptono, S., Yulianto, M.R., Vergiagara, V, dan Sofyan, H. (2020). Rock Mass Rating and Geological Strength Index of Rock Masses of Indonesian Coal Mining Areas. *SEMNASIF 2020*. 1(1). 415-426.
- Shobari, A.F., Jabbari, I., Khoirullah, N., Zakaria, Z., Sophian, R.I., Mulyo, A. (2019). Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) Dengan Nilai Safety Factor (SF) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*. 3(2). 243-253.
- Syamsuri, Rachmat R. N., Zainuri, A., Kasim, M. (2022). Metode Geological Strength Index (GSI) untuk Perkiraan Bahaya Bencana Geoteknik Pada Lereng Ruas Gorontalo Outer Ring Road Segment 1 STA 6+450. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*. 6(1). 47-52. <https://doi.org/10.30595/jrst.v6i1.11097>
- Wijaya, R. A., Karnawati, D., Srijono, S., Wilopo, W., & Isnawan, D. (2018). Estimasi Geological Strength Index (Gsi) System Pada Lapisan Batugamping Berongga Di Tambang Kuari Blok Sawir Tuban Jawa Timur. *Promine*, 2(2). <https://doi.org/10.33019/promine.v2i2.76>
- Sutrisno, W., Sulistyorini, D., Julendi, T.R., Ardyansyah, F., Ardyansyah, H. (2023) Evaluasi Faktor Keamanan Lereng Berdasarkan Nilai Geological Strength Index (GSI) Dan Uniaxial Compressive Strength (UCS) Dalam Perencanaan Lereng. *Jurnal Kacapuri*. 6(2). 309-323.