

ANALISIS STABILITAS TEBING PANTAI DI NUSA PENIDA

Tjokorda Gde Suwarsa Putra¹⁾, Made Dodiek Wirya Ardana¹⁾, dan Novianty Magdalena²⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

²⁾Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

Email:suwarsaputra@gmail.com

Abstrak: Maraknya proyek pembangunan villa di Nusa Penida, dengan lokasi yang berpotensi mengalami kelongsoran serta dicanangkannya Perda Kabupaten Klungkung No.1 Tahun 2013 tentang Tata Ruang Wilayah Kabupaten Klungkung Tahun 2013–2033 yang mengatur tentang kawasan sempadan jurang, mendorong dilakukannya suatu penelitian teknis mengenai pengaruh keberadaan, karakteristik, dan orientasi kekar yang ada terhadap kondisi stabilitas tebing di Nusa Penida. Upaya yang dilakukan untuk mengetahui keberadaan, karakteristik, dan orientasi kekar tersebut yaitu melalui kegiatan bor inti di salah satu lokasi di daerah Nusa Penida, yaitu di Banjar Pangkung, Desa Batu Madeg. Hasil pengamatan di lapangan kemudian dianalisis dengan menggunakan metode klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dan prinsip-prinsip dasar perhitungan faktor keamanan (*safety factor*) untuk mengetahui kondisi kemantapan tebing tersebut. Hasil penelitian menunjukkan nilai total RMR massa batuan pembentuk tebing adalah 70 sehingga kondisi massa batuan dapat diklasifikasikan pada kelas massa batuan baik (RMR 61-80). Nilai angka keamanan yang ditunjukkan oleh hasil perhitungan dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar perhitungan *safety factor* juga menunjukkan hasil yang baik ($FS > 1,5$). Ini menunjukkan bahwa secara umum tebing pantai di Banjar Pangkung, Desa Batu Madeg, Nusa Penida berada dalam kondisi stabil dengan kemungkinan terjadi longsor hanya di beberapa blok kecil, sehingga sistem perkuatan atau penyanggaan tidak diperlukan untuk tebing pantai ini.

Kata Kunci: Nusa Penida, Kawasan Sempadan Jurang, RMR, Analisis Stabilitas Tebing, Faktor Keamanan

SEA CLIFF STABILITY ANALYSIS IN NUSA PENIDA

Abstract: *The rise of villa development projects in Nusa Penida with the selection of locations that have the potential to experience sliding as soon as the enactment of Perda Klungkung regency no. 1 of 2013 on Spatial Area Klungkung Regency Year 2013-2033 which regulates setback line of the cliff, encourage a technical research on the effect of the presence, characteristic, and joint orientation that exists on sea cliff stability conditions in the Nusa Penida. Efforts are made to determine the presence, characteristic, and joint orientation is through the core drill in one of the locations in the area of Nusa Penida, namely in Banjar Pangkung, Batu Madeg Village. Field observations were then analyzed using Rock Mass Rating (RMR) method and basic principles of safety factor calculation to determine the sea cliff stability condition. The results showed that the total value of RMR is 70 so that rock mass conditions can be classified on rock mass class good (RMR 61-80). The value of the safety factor indicated by the calculation results using the basic principles of calculating the safety factor also shows good results ($FS > 1.5$). This indicates that in general the sea cliffs in Banjar Pangkung, Batu Madeg Village, Nusa Penida are in stable condition with the possibility of sliding is only on a few small blocks, so no reinforcement or buffer system is required for this sea cliff.*

Keywords: *Nusa Penida, Setback Line of the cliff, RMR, Cliff Stability Analysis, Safety Factor*

PENDAHULUAN

Tebing adalah bagian yang miring atau sisi yang landai pada sebuah gunung, bukit, pegunungan, atau perbukitan (Sujatmiko, 2014). Pada tebing tanah maupun tebing batuan, gaya potensial gravitasi cenderung menggerakkan tanah/batuan ke bawah, yang disebabkan adanya perbedaan elevasi puncak dan dasar yang terdapat pada tebing tersebut. Disamping gaya potensial gravitasi, terdapat pula gaya-gaya dalam tanah/batuan yang berfungsi sebagai kekuatan agar kedudukan tanah pada tebing tetap stabil. Contohnya adalah gaya gesekan dan lekatan (kohesi) sebagai parameter kekuatan geser. Jika gaya potensial gravitasi (gaya pendorong) lebih besar dari pada kekuatan geser yang dimiliki oleh tanah/batuan, maka akan terjadi kelongsoran tebing. Selain gaya pendorong, menurut Terzaghi (1950), penyebab kelongsoran ada dua, yaitu pengaruh luar (*external effect*) dan pengaruh dalam (*internal effect*). Pengaruh luar contohnya kegiatan manusia, erosi sungai, gempa bumi, dan lainnya, sedangkan contoh pengaruh dalam adalah bertambahnya tekanan air pori dalam tebing.

Untuk mengetahui potensi kelongsoran, perlu dilakukan analisis stabilitas tebing, yaitu penyelidikan terhadap kemantapan suatu permukaan tanah yang miring dengan tujuan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor potensial pada permukaan tanah tersebut (Hardiyatmo, 2010). Analisis stabilitas tebing penting dilakukan dalam perencanaan konstruksi sipil dan berkaitan dengan kelancaran pengerjaan konstruksi dan antisipasi terjadinya bencana yang fatal, termasuk jika kondisi tanah pada lokasi yang tidak sesuai dengan keperluan perencanaan. Dengan analisis yang akurat, akan diperoleh suatu konstruksi tebing yang sesuai dengan syarat keamanan dan memenuhi keperluan perencanaan. Selain analisis stabilitas tebing, karakteristik tanah dan daya dukung tanah di lokasi perencanaan juga perlu diketahui.

Nusa Penida merupakan salah satu dari empat kecamatan yang ada di Kabupaten Klungkung, di sebelah tenggara Pulau Bali, dan dipisahkan oleh Selat Badung dari Pulau Bali. Secara umum, kondisi topografi Nusa Penida tergolong landai sampai berbukit. Desa-desa pesisir di sepanjang pantai utara terletak pada lahan datar dengan kemiringan 0-3 % dan pada ketinggian 0-268 m dpl. Karena memiliki panorama yang indah, Nusa Penida berpotensi untuk dikembangkan menjadi daerah pariwisata.

Terus bertambahnya wisatawan yang berkunjung setiap tahun membuat para investor melirik Nusa Penida sebagai salah satu tujuan investasi. Kalangan investor biasanya memilih seputar pembangunan villa (tempat penginapan). Tidak jarang, lokasi yang dipilih cukup berisiko karena latar pemandangan yang diinginkan. Karena kondisi geografis di daerah Nusa Penida didominasi oleh topografi perbukitan dengan tanah tandus berkapur dan tebing kapur curam yang berpotensi besar longsor, perlu dilakukan penyelidikan lanjut mengenai kemantapan tebing dan karakteristik tanahnya.

Perda Kabupaten Klungkung No.1 Tahun 2013 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Klungkung Tahun 2013–2033 mengatur tentang kawasan sempadan jurang untuk mengantisipasi bencana longsor pada tebing,. Pasal 1 no. 57 menyebutkan bahwa kawasan sempadan jurang adalah daratan sepanjang daerah datar bagian atas dengan lebar proporsional sesuai bentuk dan kondisi fisik. Syarat-syarat yang harus dipenuhi kawasan sempadan jurang diatur pada pasal 80a–pasal 80f, dengan syarat di antaranya adalah; kawasan sempadan jurang memiliki kedalaman sekurang-kurangnya 5 meter dan lebar bagian atas sekurang-kurangnya sebelas meter atau kurang dari ketentuan tersebut setelah melalui penelitian teknis, kawasan sempadan jurang diperbolehkan untuk bangunan non-permanen dan temporer sepanjang tidak berdampak negatif terhadap fungsi lindungnya, dan pada kawasan sempadan jurang setidaknya disediakan ruang terbuka publik (*public space*) minimal 3 meter untuk jalan inspeksi dan/atau taman telajakan.

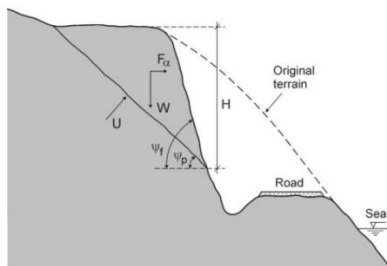
METODE

Penelitian ini dilakukan di Banjar Pangkung, Desa Batu Madeg, Nusa Penida. Sepuluh buah sampel diambil pada lima titik yang berbeda pada lokasi yang sama (2 titik dengan bor inti dan 3 titik dengan bor sembur). Pengambilan sampel ini dilakukan dengan bor inti (*core drilling*) dan bor sembur (*wash drilling*). Pengujian sampel dilakukan dalam kondisi tidak terganggu dan kondisi terganggu (melalui proses perendaman air selama 3 hari untuk mengilustrasikan bahwa daerah tersebut setelah diguyur hujan). Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Udayana.

Perhitungan analisis stabilitas tebing pantai dilakukan dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar dalam perhitungan faktor keamanan (*safety*

factor *SF*) karena penyelesaiannya lebih sederhana dan faktor-faktor yang digunakan dalam metode ini cukup kompleks (Nelson, 2000). Faktor-faktor yang dimaksud adalah; Berat Bongkahan Tebing Jatuh (*W*), Tekanan Air Pori (*U*), Kekuatan Gempa (*F_a*), Sudut keruntuhan (*Ψ_p*), Sudut kemiringan tebing (*Ψ_f*), Sudut Geser Dalam (*φ_a*). Berdasarkan faktor-faktor tersebut nilai *SF* (*Safety Factor*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$SF = \frac{(W \cos \Psi_p - U - F_a \sin \Psi_p) \tan \phi_a}{(W \sin \Psi_p + F_a \cos \Psi_p)}$$



Gambar 1. Sketsa Skematik Dari Tipe Masalah Kestabilan Tebing (Nelson, 2000)

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari hasil analisis bobot total massa batuan (*Rock Mass Rating*). Klasifikasi geomekanik sistem RMR adalah suatu metode empiris untuk menentukan pembobotan dari suatu massa batuan, yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan massa batuan sebagai salah satu cara untuk menentukan kemiringan lereng maksimum. Klasifikasi RMR didasarkan pada enam parameter, yang kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total RMR. Parameter-parameter tersebut antara lain; *uniaxial compression strength (UCS)*, *rock quality designation (RQD)*, jarak diskontinuitas (*spacing of discontinuities*), kondisi diskontinuitas (*condition of discontinuities*), kondisi air tanah (*groundwater condition*), orientasi diskontinuitas (*orientation of discontinuities*) (Waltham, 1995). Nilai total RMR yang diperoleh disubstitusikan ke dalam Tabel 1. Data yang digunakan dalam analisis bobot total massa batuan merupakan data yang dikumpulkan dari kegiatan pengeboran di lokasi pengambilan sampel yaitu Banjar Pangkung, Desa Batu Madeg, Nusa Penida.

Tabel 1. Kelas Massa Batuan, Kohesi, Sudut Geser Berdasarkan Nilai RMR.

| Profil Massa Batuan | Deskripsi | | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Rating | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | 20-0 |
| Kelas massa Batuan | Sangat Baik | Baik | Sedang | Jelek | Sangat Jelek |
| Kohesi | >400kPa | 300-400kPa | 200-300kPa | 100-200kPa | <100kPa |
| Sudut Geser Dalam | >45° | 35°-45° | 25°-35° | 15°-25° | <15° |
| SBP(MPa) | 10 | 4-6 | 1-2 | 0,5 | < 0,2 |
| Safe Cut Slope (°) | >70° | 65° | 55° | 45° | <40° |
| Average StandUp Time For Span | 20 years for 15 m span | 1 years for 10 m span | 1 week for 5 m span | 12 hrs for 2 m span | 30 min for 1 m span |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan, diketahui bahwa secara umum lapisan tanah/batuan pada lokasi pengambilan sampel secara umum terdiri atas lapisan tanah residu berupa lempung coklat dan batuan *limestone*.

Data Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik dan mekanik dari benda uji yang diambil dari tabung inti diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Dengan Kondisi Asli (Tidak Terganggu)

| Bore Hole | Depth (m) | Unit Wt. (gr/cc) | Moist Content (%) | Gs | UCS | | |
|-----------|-----------|------------------|-------------------|-------|---------|--------------|--------------|
| | | | | | UBP MPa | SBP, SF3 MPa | SBP, SF5 MPa |
| BH1 | 3,00 | 2,33 | 1,90 | 2,491 | 14,47 | 4,82 | 2,89 |
| | 6,00 | 2,40 | 1,66 | 2,642 | 18,62 | 6,21 | 3,72 |
| BH2 | 2,60 | 2,26 | 1,25 | 2,589 | 20,22 | 6,74 | 4,04 |
| | 4,50 | 2,08 | 1,61 | 2,512 | 13,77 | 4,59 | 2,75 |
| BH3 | 1,50 | 2,28 | 1,06 | 2,547 | 21,77 | 7,26 | 4,35 |
| BH5 | 1,70 | 2,30 | 1,03 | 2,351 | 19,84 | 6,61 | 3,97 |

Tabel 3. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan dengan Kondisi Sampel Direndam (Terganggu)

| Bore Hole | Depth (m) | Unit Wt. (gr/cc) | Moist Content (%) | Gs | UCS | | |
|-----------|-----------|------------------|-------------------|-------|---------|---------------|---------------|
| | | | | | UBP MPa | SBP, SF 3 MPa | SBP, SF 5 MPa |
| BH1 | - | 2,42 | 2,45 | 2,606 | 23,42 | 7,81 | 4,68 |
| BH2 | - | 2,46 | 2,37 | 2,613 | 18,16 | 6,05 | 3,63 |
| BH3 | - | 2,25 | 2,58 | 2,679 | 13,32 | 4,41 | 2,64 |
| BH5 | - | 2,19 | 2,69 | 2,565 | 12,40 | 4,13 | 2,48 |

Data Rock Quality Designation (RQD)

Berdasarkan hasil pengukuran inti > 100 mm untuk setiap lubang bor per meter kedalaman bor, didapatkan nilai RQD seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai RQD

| Depth (m) | RQD (%) | |
|-----------|------------|------------|
| | BH1 | BH2 |
| 0 - 1 | 64 | 29 |
| 1 - 2 | 92 | 53 |
| 2 - 3 | 67 | 71 |
| 3 - 4 | 85 | 71 |
| 4 - 5 | 80 | 91 |
| 5 - 6 | 80 | 45 |
| 6 - 7 | 69 | 66 |
| 7 - 8 | 71 | 0 |
| 8 - 9 | 77 | 80 |
| 9 - 10 | 0 | 85 |
| 10 - 11 | 0 | 85 |
| 11 - 12 | 0 | 100 |
| 12 - 13 | 0 | 66 |
| 13 - 14 | 42 | 64 |
| Jumlah | 727 | 906 |

Data Oriented Core

Dalam kegiatan *core orienting*, dilakukan pengumpulan data jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah, dan orientasi diskontinuitas. Data-data tersebut disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data Oriented Core

| Data | Keterangan |
|--------------------------|----------------|
| Jarak Diskontinuitas | Very Wide |
| Kondisi Diskontinuitas | Rough |
| Kondisi Air Tanah | Completely Dry |
| Orientasi Diskontinuitas | Favourable |

Pengolahan Data

1) Perhitungan Nilai RQD

Nilai RQD ditentukan untuk setiap interval (*run*) pengeboran. Pengeboran dilakukan dengan interval (*run*) 14 meter. Berikut ini adalah perhitungan RQD pada inti bor BH1 dan BH2.

a) Perhitungan RQD BH1

$$RQD = \frac{\sum \text{Panjang potongan} - \text{potongan inti}}{\text{Total panjang inti sekali run}} \times 100\%$$

$$RQD = \frac{727}{1400} \times 100\% = 52\%$$

b) Perhitungan RQD BH2

$$RQD = \frac{\sum \text{Panjang potongan} - \text{potongan inti}}{\text{Total panjang inti sekali run}} \times 100\%$$

$$RQD = \frac{906}{1400} \times 100\% = 65\%$$

2) Perhitungan Nilai RMR_{basic}

a. Pembobotan Parameter Kekuatan Batuan Utuh

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium diperoleh rata-rata kekuatan batuan utuh berkisar pada nilai 5–25 MPa.

Tabel 6. Pembobotan Parameter Kekuatan Batuan Utuh (Waltham, 1995)

| Diskripsi Kualitatif | UCS (MPa) | PLI (MPa) | Rating |
|---|---------------|----------------------------------|----------|
| Sangat Kuat Sekali (<i>aceptionally strong</i>) | > 250 | > 10 | 15 |
| Sangat Kuat (<i>Very Strong</i>) | 100 - 250 | 4 - 10 | 12 |
| Kuat (<i>Strong</i>) | 50 - 100 | 2 - 4 | 7 |
| Sedang (<i>Average</i>) | 25 - 50 | 1 - 2 | 4 |
| Lemah (<i>Weak</i>) | 5 - 25 | Penggunaan UCS lebih dilanjutkan | 2 |
| Sangat Lemah (<i>Very Weak</i>) | 1 - 5 | dilanjutkan | 1 |
| Sangat Lemah Sekali (<i>Extremely Weak</i>) | < 1 | | 0 |

b. Pembobotan RQD

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata RQD berkisar pada nilai 50–75 %.

Tabel 7. Pembobotan Parameter RQD

| RQD(%) | Kualitas Batuan | Rating |
|----------------|-----------------------------------|-----------|
| < 25 | Sangat Jelek (<i>Very Poor</i>) | 3 |
| 25 - 50 | Jelek (<i>Poor</i>) | 8 |
| 50 - 75 | Sedang (<i>Fair</i>) | 13 |
| 75 - 90 | Baik (<i>Good</i>) | 17 |
| 90 - 100 | Sangat Baik (<i>Excellent</i>) | 20 |

c. Pembobotan Parameter Spasi Kekar

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan diperoleh rata-rata jarak spasi kekar berkisar pada nilai 0,006–0,2 m. Namun, pada penelitian ini diambil nilai maksimum dari spasi diskontinuitas untuk mengantisipasi adanya jarak spasi kekar yang lebih besar dari 2 meter.

Tabel 8. Pembobotan Parameter Spasi Kekar

| Deskripsi | Spasi Diskontinuitas (m) | Rating |
|--|--------------------------|-----------|
| Sangat Lebar (<i>Very Wide</i>) | > 2 | 20 |
| Lebar (<i>Wide</i>) | 0,6-2 | 15 |
| Sedang (<i>Moderate</i>) | 0,2-0,6 | 10 |
| Rapat (<i>Close</i>) | 0,006-0,2 | 8 |
| Sangat Rapat (<i>Very Close</i>) | < 0,006 | 5 |

d. Pembobotan Parameter Kondisi Kekar

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan diperoleh kondisi kekar berada pada keadaan kasar (*rough*).

Tabel 9. Pembobotan Parameter Kondisi Kekar

| Kekasaran Permukaan | Deskripsi | Bobot |
|---|---|-----------|
| Sangat Kasar (<i>Very Rough</i>) | Bila diraba permukaan sangat tidak rata, membentuk punggungan dengan sudut terhadap bidang datar mendekati vertical | 30 |
| Kasar (<i>Rough</i>) | Bergelombang, permukaan tidak rata, butiran pada permukaan terlihat jelas, permukaan kekar terasa kasar | 25 |
| Sedikit Kasar (<i>Slightly Rough</i>) | Butiran permukaan terlihat jelas, dapat dibedakan, dan dapat dirasakan bila diraba | 20 |
| Halus (<i>Smooth</i>) | Permukaan rata terasa halus bila diraba | 10 |
| Licin Berlapis (<i>Slickensided</i>) | Permukaan terlihat mengkilap | 0 |

e. Pembobotan Parameter Kondisi Air Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan tidak ditemukan adanya permukaan air tanah sampai pada kedalaman 15 meter.

Tabel 10. Pembobotan Parameter Kondisi Air Tanah

| Kondisi Umum | Kering | Lembab | Basah | Ada Tetesan air | Ada aliran air |
|---|-----------|--------|---------|-----------------|----------------|
| Debit air tiap 10 m panjang te rowongan | Tidak ada | < 10 | 10-25 | 25-125 | > 125 |
| Tekanan air pada kekar | 0 | < 0,1 | 0,1-0,2 | 0,1-0,2 | > 0,5 |
| Rating | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

f. Pembobotan Parameter Orientasi Diskontinuitas

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan tidak ditemukan adanya orientasi diskontinuitas yang saling berlawanan sehingga dikategorikan dalam kondisi baik (*favourable*).

Tabel 11. Pembobotan Parameter Orientasi Diskontinuitas

| Strike and Dip Orientations | Very favour able | Favour able | Fair | Unfavo urable | Very Unfavo urable |
|-----------------------------|------------------|-------------|------|---------------|--------------------|
| Rating Tunnel & Mines | 0 | -2 | -5 | -10 | -15 |
| Foundations | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| Slopes | 0 | -5 | -25 | -50 | |

g. Perhitungan Nilai RMRbasic'

Berdasarkan hasil analisis seperti yang dijabarkan diatas maka diperoleh nilai RMRbasic' adalah seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai Total RMR (*Rock Mass Rating*) (Hasil Analisis Menggunakan Metode RMR, 2017)

| No | Parameter | Keterangan | Bobot |
|-------------|--------------------------|-----------------------------------|-------|
| 1 | UCS | 5 - 25 MPa | 2 |
| 2 | RQD | 50 - 75% | 13 |
| 3 | Spasi Kekar | Sangat Lebar (<i>Very Wide</i>) | 20 |
| 4 | Kondisi Kekar | Kasar (<i>Rough</i>) | 25 |
| 5 | Kondisi Air Tanah | Kering (<i>Dry</i>) | 15 |
| 6 | Orientasi Diskontinuitas | Baik (<i>Favourable</i>) | -5 |
| Total Bobot | | | 70 |

Analisis Data

Nilai RMR total yang diperoleh kemudian disubstitusikan ke dalam Tabel 1 dan ditunjukkan pada Tabel 13, sehingga diperoleh

hasil, kelas massa batuan berada pada kondisi baik (kelas II) dengan nilai kohesi antara 300–400 kPa. Sudut Geser Dalam batuan berkisar antara 35°-45°. Kuat tekan batuan (SBP) adalah sekitar 4–6 MPa (hasil uji aktual menunjukkan pada 3,62 MPa). Dan sudut keruntuhan tebing batuan adalah 65°.

Tabel 13. *Guideline Properties of Rock Mass Classes* (Waltham, 1995)

| Profil Massa Batuan | Deskripsi | | | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Rating | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | 20-0 |
| Kelas massa Batuan | Sangat Baik | Baik | Sedang | Jelek | Sangat Jelek |
| Kohesi | >400kPa | 300-400kPa | 200-300kPa | 100-200kPa | <100kPa |
| Sudut Geser Dalam | >45° | 35°-45° | 25°-35° | 15°-25° | <15° |
| SBP(MPa) | 10 | 4-6 | 1-2 | 0,5 | < 0,2 |
| Safe Cut Slope (°) | >70° | 65° | 55° | 45° | <40° |
| Average StandUp Time For Span | 20 years for 15 m span | 1 years for 10 m span | 1 week for 5 m span | 12 hrs for 2 m span | 30 min for 1 m span |

Analisis *Setback Line*

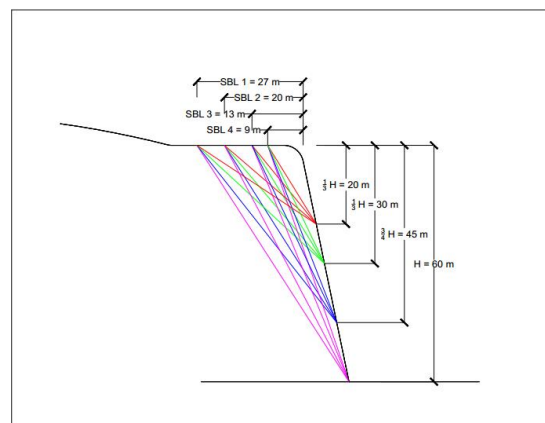
Jarak *setback line* dapat ditentukan berdasarkan tinggi tebing dibagi dengan tangen sudut keruntuhan tebing.

$$B = \frac{H}{\tan \theta}$$

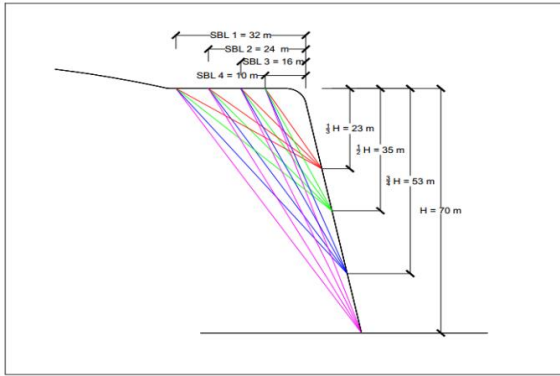
Pada studi kasus ini diperoleh nilai *setback line* adalah seperti Tabel 14.

Tabel 14. Jarak *Setback Line* Dari Tebing Pantai Berdasarkan Tinggi Batas Keruntuhan Tebing

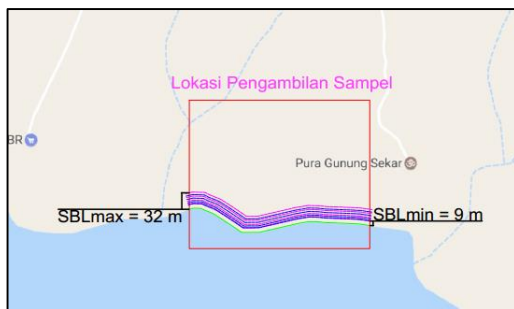
| Tinggi Batas Keruntuhan Tebing Dari Puncak (H) (m) | Jarak <i>Setback Line</i> Dari Tepi Tebing (B) (m) |
|--|--|
| 70 | 32 |
| 60 | 27 |
| 53 | 24 |
| 45 | 20 |
| 35 | 16 |
| 30 | 13 |
| 23 | 10 |
| 20 | 9 |



Gambar 2. *Setback Line* dan Garis Keruntuhan Tebing Untuk H = 60 m



Gambar 3. *Setback Line* dan Garis Keruntuhan Tebing Untuk H = 70 m



Gambar 4. Plot Jarak *Setback Line* Pada Peta Kontur Lokasi Pengambilan Sampel

Perhitungan Nilai Safety Factor (SF)

Nilai SF dihitung untuk menguatkan hasil batas aman (*setback line*) yang telah ditentukan. Perhitungan nilai SF dicoba dengan berbagai kombinasi untuk membuktikan keamanan tebing dengan berbagai kondisi secara teoritis. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai SF.

Diketahui:

H = 20 m

$\Psi_f = 90^\circ$

$\Psi_p = 65^\circ$

$\gamma_r = 2,28 \text{ gr/cc } (22,8 \text{ kN/m}^3)$

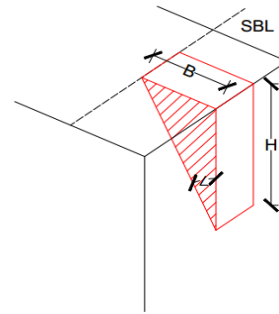
JRC = 1

JCS = 5

$$W = \left(\frac{\gamma_r H^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{\tan \Psi_p} - \frac{1}{\tan \Psi_f} \right)$$

$$= \left(\frac{22,8 \cdot 20^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{\tan(65)} - \frac{1}{\tan(90)} \right)$$

$$= 2126 \text{ kN/m}$$



Gambar 5. Bagian Tebing Yang Runtuh

$$\varphi_a = \tan^{-1} \left(\frac{(\gamma_r \cdot H) \cdot \tan[JRC \cdot \log(JCS/(\gamma_r \cdot H)) + \varphi_b]}{\frac{(W \cos \Psi_p - U - F_\alpha \sin \Psi_p)}{\frac{H}{\sin \Psi_p}}}} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{(22,8 \cdot 20) \cdot \tan[1 \cdot \log(5/(22,8 \cdot 20)) + 35]}{\frac{(2126 \cos(65) - 0 - 0)}{\frac{20}{\sin(65)}}}} \right)$$

$$= 82,2^\circ$$

$$SF = \frac{(W \cos \Psi_p - U - F_\alpha \sin \Psi_p) \tan \varphi_a}{(W \sin \Psi_p + F_\alpha \cos \Psi_p)}$$

$$= \frac{(2126 \cos(65) - 0 - 0) \tan(82,2)}{(2126 \sin(65) + 0)}$$

$$= 3,4$$

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Udayana dan analisis dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik fisik dan mekanik batuan di Batu Madeg, Nusa Penida adalah seperti uraian berikut ini:
 - a. Kondisi batuan di lokasi pengambilan sampel dengan melihat kondisi kadar air rata-rata alami ($W_c = 1,42 \%$), dan kadar air setelah perendaman ($W_c = 2,50\%$) adalah kondisi kering dan kedap air (*impermeable*).
 - b. Kekuatan unit batuan memiliki kuat tekan ultimit rata-rata 18,12 MPa, sehingga digolongkan dalam kondisi lemah (*weak*).
 - c. Distribusi nilai RQD menunjukkan bahwa secara keseluruhan kualitas massa batuan pembentuk tebing pantai adalah sedang (*fair*) hingga sangat baik (*very good*) dengan rentang nilai RQD 53–100.
2. Sedangkan stabilitas tebing pantai di Batu Madeg, Nusa Penida adalah:

- a. Berdasarkan kualitas massa batuan pembentuk tebing pantai tersebut dimana diperoleh RMR total adalah 70, maka dapat disimpulkan bahwa secara teoritis lereng dalam kondisi stabil dengan kemungkinan terjadi longsor hanya di beberapa bagian kecil saja.
- b. Berdasarkan nilai SF teoritis ($SF > 1,5$) yang dihasilkan, maka secara umum, tebing pantai tidak memerlukan sistem perkuatan atau penyanggaan untuk tebing.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2013. *Perda Kab. Klungkung No.1 Tahun 2013 Tentang RTRW Kab. Klungkung*.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Nelson, 2000. New trends in rock slope stability analyses. *Bulletin Engineering Geology Enviromental* (2000) 58. p.173-178 Springer Link
- Sujatmiko, E. 2014. *Kamus IPS*. Aksara Sinergi Media, Surakarta.
- Waltham, A. C. 1995. *Foundations of Engineering Geology*. Blackie Academic & Professional, New York.