



GO-4 STABILITAS TEBING PANTAI DESA PECATU KABUPATEN BADUNG BALI: STUDI KASUS PANTAI PADANG-PADANG

Made Dodiek Wiryana Ardana^{1*}

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus UNUD Bukit Jimbaran
Badung, Bali
e-mail: madedodiek@unud.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur khususnya penunjang pariwisata yang berada di sekitar tebing pantai mulai dirambah secara intensif. Pembangunan fasilitas seperti hotel atau sanggraloka banyak memanfaatkan tepi tebing pantai karena pemandangan pantai atau laut yang mempesona. Pantai Padang-Padang terletak di Desa Pecatu Kabupaten Badung Bali. Pantai ini secara umum merupakan tebing pantai yang terbentuk oleh batuan kapur. Studi ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas lereng/tebing dan jarak sempadan teknis (*setback line*) yang aman secara teoritis. Tebing pantai disekitar wilayah ini dapat mencapai ketinggian 100meter dari kedudukan permukaan pantai. Untuk menganalisis stabilitas lereng/tebing dan garis sempadan teknis, penyelidikan karakteristik batuan kapur telah dilakukan dengan pengeboran dan pengujian lapangan serta laboratorium. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode prinsip kesetimbangan gaya dengan memadukannya dengan karakteristik batuan kapur berupa peringkat masa batuan atau *Rock Mass Rating, RMR*. Analisis stabilitas juga mempertimbangkan kedudukan muka air, karakter masa batuan yang tidak homogen serta diskontinu, penyebaran tegangan pada retakan batuan, koefisien kekasaran retakan, dan gaya akibat seismik, Karakteristik batuan kapur dari hasil pengujian meliputi uji tekan mencapai 10 MPa, nilai total RMR 52, nilai RQD kurang dari 25, sudut geser dalam berkisar 25 – 35° dan kohesi berkisar 200 – 300kPa. Hasil analisis sudut aman lereng (*safe cut-slope*) adalah 55-65° terhadap garis horizontal. Berdasarkan besarnya sudut aman lereng dan karakteristik batuan kapur didapatkan garis sempadan teknis secara teoritis pada koridor 17 – 21meter dari tepi tebing pantai. Angka keamanan stabilitas lereng berada pada kisaran 2,8 – 3,4.

Kata kunci: tebing, lereng, stabilitas, sempadan, peringkat masa batuan.

PENDAHULUAN

Tepi tebing pantai menjadi salah satu tempat yang mulai banyak dipilih untuk pembangunan fasilitas ini. Pantai Padang-Padang terletak di Desa Pecatu Kabupaten Badung Bali secara umum merupakan tebing pantai yang terbentuk oleh batuan kapur. Tebing Pantai ini memiliki ketinggian 20 – 100 meter dari permukaan pantai. Batuan kapur pada daerah ini terbagi menjadi batu kapur (*limestone*) dan batu kapur yang telah terdekomposisi (*chalk*). Secara umum karakteristik batuan kapur pada Kawasan Bukit Pecatu dapat dikelompokkan yaitu batuan belahan barat Bukit Pecatu (tebing pantai) cenderung memberikan peringkat masa batuan yang lebih tinggi dari pada belahan tengah dan timur yang mempunyai peringkat masa batuan lebih rendah. Batuan di bagian barat memiliki peringkat kelas batuan *fair* sedangkan bagian tengah dan timur mempunyai peringkat kelas batuan *poor* (Ardana dan Aribudiman, 2019). Memperhatikan karakteristik yang tidak homogen dan diskontinu batuan kapur pada daerah ini serta gencarnya pembangunan infrastruktur di sekitar tebing, maka analisis teknis terkait kekuatan masa batuan perlu dilakukan. Selanjutnya pada studi ini akan dilakukan analisis stabilitas lereng/tebing dan sudut aman lereng serta sekaligus untuk mengetahui kedudukan garis sempadan teknik dari bibir tebing.

KARAKTERISTIK BATUAN DAN STABILITAS LERENG

Karakteristik dan Peringkat Masa Batuan

Limestone dan *chalk* adalah batuan yang unik karena secara fisik menunjukkan masa batuan yang sangat kuat namun sangat rentan dan mudah mengalami erosi akibat air dan proses permukaan (pelapukan). Praktisnya proses pelapukan bergantung dari kontak antara batuan dengan udara dan atau air serta sangat dipengaruhi oleh iklim/musim yang ada di bumi. Proses dekomposisi pada pelapukan mengakibatkan perubahan karakteristik fisik dan mekanik batuan (Török, 2003). Karakteristik yang dimaksud adalah kekuatan masa batuan dengan indikator seperti kekuatan unit batuan, kualitas retakan (*rock quality designation, RQD*), spasi retakan, kondisi patahan, kedudukan muka air tanah, dan arah patahan. *RQD* yang didefinisikan oleh Deere et.al (1967) dan Deere (1989) digunakan sebagai indikator diskontinuitas pada batuan. British Standards Institution, 1981 memberikan pengelompokan nilai-nilai *RQD*, < 25% (Very poor); 25-50% (Poor); 50-75% (Fair); 75-90% (Good) dan 90-100% (Excellent). Keenam indikator ini menjadi komponen yang akan dinilai untuk menggolongkan peringkat kekerasan masa batuan (*Rock Mass Rating, RMR*) (Bieniawski, 1989). Sistem *RMR* pertama kali dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973. Pada studi ini, sistem *RMR* ini digunakan untuk menganalisis karakteristik batuan *limestone* dan *chalk* di kawasan Bukit Pecatu, khususnya pada Pantai Padang-Padang, Kabupaten Badung, Bali. Pemeringkatan Masa Batuan (*RMR*) disajikan pada Tabel 1. Karakteristik geoteknik adalah berupa hasil pengujian lapangan adalah uji penetrasi standar, SPT dan uji laboratorium berupa kuat tekan batas, (*UCS*), *Ultimate Bearing Pressure*, (*UBP*) dan *Safe Bearing Pressure*, (*SBP*).

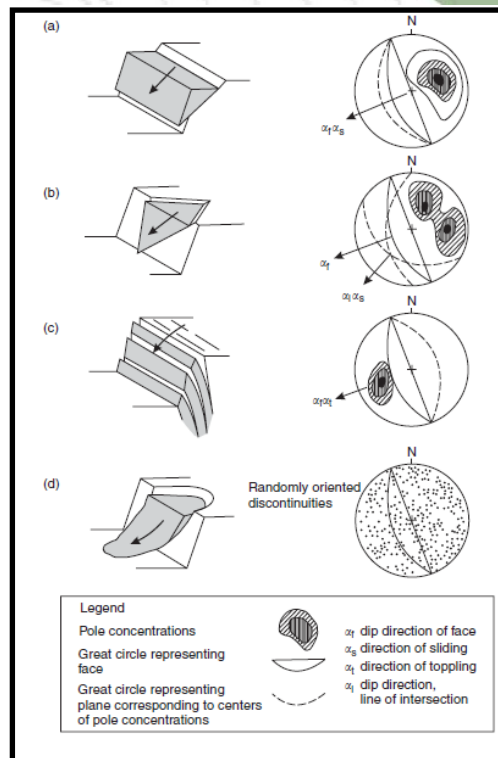
Tabel 1. Peringkat Sistem *RMR*

	I	II	III	IV	V
Class Description RMR	Very good rock	good rock	fair rock	poor rock	very poor rock
	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	< 20
Q Value	> 40	10 - 40	4 - 10	1 - 4	1
Friction angle f (o)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15
Cohesion (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
SBP (MPa)	10	4 - 6	1 - 2	0.5	< 0.2
Safe Cut Slope (o)	> 70	65	55	45	< 40
Tunnel Support	None	Spot bolts	Pattern bolts	Bolts +	Steel ribs
Stand up time for span	20 yr for 15 m	1 yr for 10 m	1 wk for 5 m	12 h for 2 m	30 min for 1 m

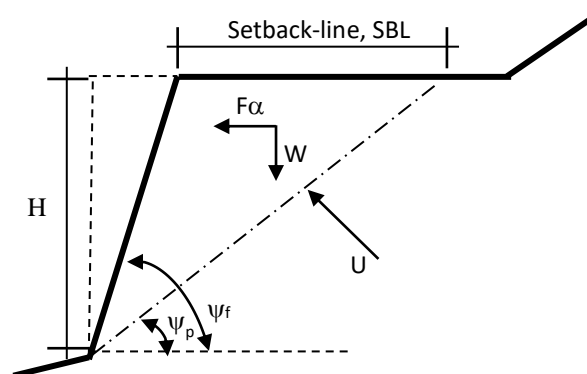
Bieniawski (1989) dalam Waltham (1994)

Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng memakai prinsip kesetimbangan gaya dengan memanfaatkan parameter karakteristik batuan. Skematik keruntuhan planar digunakan untuk mengetahui angka stabilitas lereng sekaligus untuk mengetahui jarak garis sempadan teknis dari tepi tebing seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Garis sempadan teknis (*Setback Line, SBL*) digunakan untuk memprediksi jarak demarkasi keruntuhan planar yang paralel dengan garis tepi tebing. Garis sempadan teknis juga digambarkan sebagai tempat paling mungkin dimulai terjadinya retakan pemicu keruntuhan/longsor.



(a) Tipikal Keruntuhan Lereng Batuan dan Struktur Geologi Planar, Wedge, Topples, dan Circular (Wyllie and Mah, 2004)



(b) Garis sempadan teknis (*Setback Line, SBL*)
 Gambar 1. Skematik pola keruntuhan planar

Nilsen (2000) memberikan pendekatan analitis untuk mengetahui angka keamanan stabilitas lereng/tebing dengan memadukan karakteristik batuan, geometri tebing dan gaya-gaya yang bekerja. Dengan memperhatikan kedudukan muka air, karakter masa batuan yang tidak homogen serta diskontinu, penyebaran tegangan pada retakan batuan, koefisien kekasaran retakan, dan gaya akibat seismic, perhitungan nilai angka keamanan (SF) diberikan pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

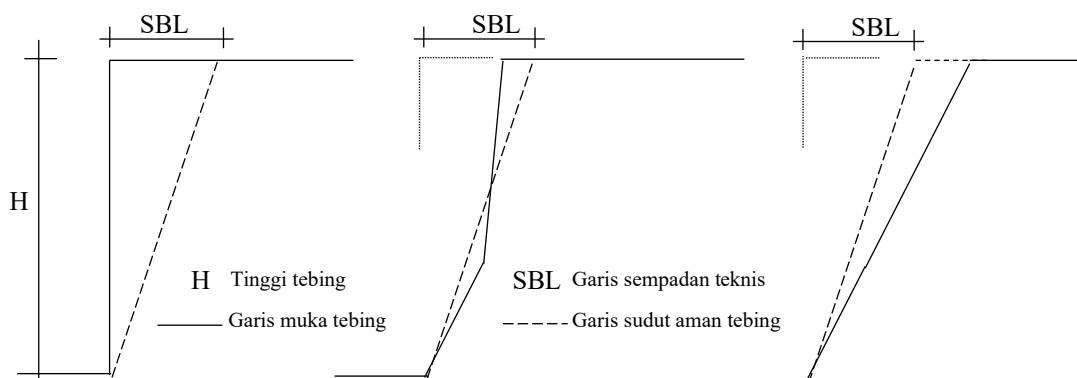
$$SF = \frac{(W \cos \Psi_p - U - F_\alpha \sin \Psi_p) \tan \phi_a}{(W \sin \Psi_p + F_\alpha \cos \Psi_p)} \quad (1)$$

dimana,

$$\varphi_a = \tan^{-1} \left(\frac{(\gamma_r \cdot H) \cdot \tan[JRC \cdot \log(JCS / (\gamma_r \cdot H)) + \varphi_b]}{\frac{(W \cos \Psi_p - U - F \alpha \sin \Psi_p)}{H}} \right) \quad (2)$$

- | | | | |
|------------|--|-------------|---|
| H | = tinggi tebing (m) | SBL | = sempadan teknis (m) |
| W | = berat batuan (kN/m) | Ψ_p | = sudut runtuh tebing ($^\circ$) |
| U | = tekanan air (kN/m) | $F \alpha$ | = m. α = gaya seismik (kN/m) |
| α | = perc. gempa (m/s^2) | Ψ_f | = sudut tebing thd. Horz. ($^\circ$) |
| γ_r | = berat vol. batuan (kN/m^3) | φ_a | = sudut geser dalam aktif ($^\circ$) |
| γ_w | = berat vol. air (kN/m^3) | φ_b | = sudut geser dalam ($^\circ$) |
| JRC | = JRC = <i>Joint Roughness Coefficient</i> | JCS | = <i>Joint Compressive Strength</i> (MPa) |
- JRC = 1 - 4; (Waltham, 1994)

Diagram sederhana untuk menggambarkan sudut aman lereng dibandingkan dengan sudut tebing mula-mula terhadap garis horizontal disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sudut aman tebing dan Garis sempadan teknis

HASIL UJI DAN ANALISIS

Karakteristik Fisik dan Mekanik.

Berdasarkan hasil catatan pengeboran, stratifikasi batuan meliputi tanah permukaan (top soil) setebal 0,5m. Di bawah lapisan tanah permukaan didominasi batuan kapur berupa bongkahan dan lapukan, tidak terdapat batuan (*limestone*) yang intak hingga kedalaman 30m. Hingga akhir pengeboran tidak ditemukan adanya muka air tanah. Sifat fisik dan sifat mekanik batuan kapur (*limestone* dan *chalk*) pada daerah studi adalah berturut-turut, berat volume 20–22 kN/m³, UBP 10 MPa, SBP (SF=5) 2 MPa, RQD < 25%, dan N-SPT > 50. Pemingkatan RMR berdasarkan karakteristik dari 2 titik pengujian diberikan pada Tabel 2.

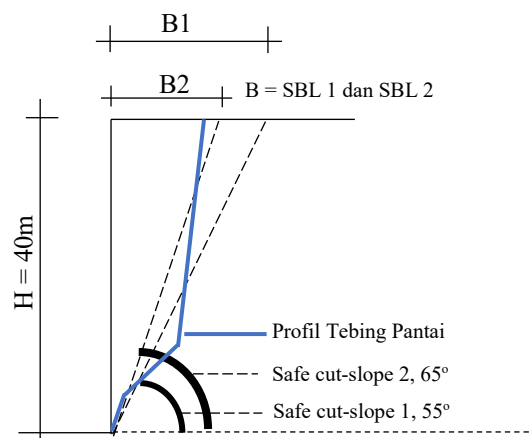
Stabilitas Lereng dan Garis Sempadan Teknis

Tinggi tebing pantai, H berkisar 40 - 50 meter bersudut hampir 90° atau hampir berupa dinding tegak terhadap horizontal. Sebagai ilustrasi berdasarkan pendekatan skema pada Gambar 3, garis imajiner yang

membentuk sudut aman lereng (*cut-slope angle*) adalah $55 - 65^\circ$, sehingga perhitungan garis sempadan teknis dapat dibuat dalam dua scenario. Skenario berikut akan diterapkan pada potongan melintang tebing pantai Section-H dengan geometri tebing setinggi 40m dengan kemiringan lereng berkisar $60 - 70^\circ$. Skenario 1: *cut-slope angle* = 55° , data kontur menunjukkan tinggi tebing berkisar 30 – 40 meter, garis sempadan teknis secara teoritis terletak pada jarak 7 – 21 meter dari tepi tebing. Skenario 2: *cut-slope angle* = 65° , data kontur menunjukkan tinggi tebing berkisar 30 – 40 meter, garis sempadan teknis secara teoritis terletak pada jarak 4 – 17 meter dari tepi tebing. Nilai angka keamanan stabilitas lereng sesuai dengan skenario 1 dan 2 adalah berkisar 2,8 – 3,4.

Tabel 2. Peringkat RMR Batuan Kapur Pantai Padang-Padang

UCS	: 1 - 25 MPa	Scores	1
RQD	: < 25		3
Spasi Retakan	: 0,6 – 2,0		15
Kelapukan Retakan	: weathered		20
Muka air tanah	: dry		15
Arah Retakan	: favourable		-2
		Total RMR	52
Total RMR score	:	52 (40-60)	
Q Value	:	10 - 40	
Rock Mass Class	:	III - Fair Rock	
Friction angle (deg)	:	25 – 35°	
Cohesion (kPa)	:	200 – 300	
SBP (MPa), SF (5)	:	1 – 2	
Cut Slope (deg) to Horizt.	:	55 - 65°	



Gambar 3. Garis imajiner yang membentuk sudut aman lereng (*cut-slope angle*)

KESIMPULAN

Batuan kapur pada tempat studi merupakan batuan kapur (*chalk*) yang telah terlapuk. Tidak ditemukan masa batuan kapur dalam kondisi bongkahan yang intak. Nilai RQD menempatkan masa batuan kapur ini

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

pada kategori buruk (*poor*), namun demikian, bila dinilai dalam sistem peringkat masa batuan maka dikategorikan sebagai batuan yang menengah (*fair*). Sudut lereng aman secara teoritis berdasarkan peringkat masa batuan pada tebing ini adalah 55° – 65° terhadap garis horizontal. Bila akan melakukan perubahan geometri tebing, maka disarankan mengikuti sudut lereng aman. Proteksi permukaan tebing sangat dibutuhkan untuk memperlambat terjadinya pelapukan pada permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, M.D.W., I.N. Aribudiman, 2019, Analisis Karakteristik Batuan Kapur (Limestone dan Chalk) di Kawasan Bukit Pecatu Kabupaten Badung Bali, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 23 (1) pp. 1-5, e-ISSN 2541-5484; p-ISSN 1411-1292
- Bieniawski, Z. T. 1989 *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley dan Sons, Inc., Canada
- Deere, D.U. , A.J. Hendron, F.D. Patton, E.J. Cording, 1967, Design of Surface and Near Surface Construction in Rock, *Proceedings of the 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics–Failure and Breakage of Rock, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York*), pp. 237-302
- Deere, D.U., 1989, *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years*, U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89–1, Waterways Experiment Station, Vicksburg, USA
- Nilsen, B., 2000, New trends in rock slope stability analyses, *Bulletin Engineering Geology and Environment*, 58, pp 173-178.
- Török, Á. 2003, Surface strength and mineralogy of weathering crusts on limestone buildings in Budapest. *Building and Environment*, 38(9), 1185-1192. doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00072-6)
- Waltham, A.C., 1994. *Foundations of Engineering Geology*, Blackie Academic & Professional, NY.
- Wyllie dan Mah, 2004, *Rock Slope Engineering: Civil Applications*, Fifth Edition