

# Perbandingan Stabilitas Lereng Batuan Dengan Material Model Hoek-Brown Dan Mohr-Coulomb yang Dipengaruhi Beban Gempa

MUHAMMAD DAFFA RIZKY<sup>1</sup>, DESTI SANTI PRATIWI<sup>2</sup>

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
  2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
- Email: [daffarizky811@gmail.com](mailto:daffarizky811@gmail.com)

## ABSTRAK

*Banyaknya lereng batuan di Indonesia, menyebabkan perlu dilakukannya analisis kestabilan lereng yang tepat guna mengurangi risiko kelongsoran di Indonesia. Kelongsoran dapat dicegah dan diprediksi dengan mencari nilai faktor keamanan (FK). Penelitian ini akan menganalisis stabilitas lereng batuan dengan menggunakan pendekatan Hoek-Brown Failure Criterion (2002), pemodelan akan dilakukan dengan membandingkan soil model Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb keadaan eksisting dan diberi beban gempa. Klasifikasi massa batuan pada penelitian ini akan dilakukan berdasarkan sistem Rock Mass Rating (RMR) dan Geological Strength Index (GSI). Pengklasifikasian dari parameter RMR didapatkan bobot 52, untuk mencari nilai GSI perlu adanya pengurangan 5 dari nilai RMR, maka nilai GSI 47. Lereng dimodelkan dengan satu lapisan batuan andesit. Hasil dari penelitian adalah perbandingan nilai faktor keamanan (FK) dan nilai deformasi saat lereng batuan diberi beban gempa. Hasil dari perbandingannya, nilai (FK) memiliki perbedaan 25,38 % nilai ( $SF > 1,5$ ) dan nilai deformasi memiliki perbedaan 89,8% untuk eksisting dan 11,29% untuk beban gempa.*

**Kata kunci:** : Stabilitas lereng, Hoek Brown, Gempa, Faktor Keamanan, Phi-c Reduction

## 1. PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia berada di Kawasan *Ring of Fire* atau 'Cincin Api' Pasifik dan memiliki fluktuasi iklim dinamis serta gejolak cuaca tinggi yang menyebabkan Indonesia rawan bencana kebumihan, seperti gempa bumi dan tanah longsor. Tanah longsor dan gempa bumi merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia, hampir setiap tahun dua bencana tersebut terjadi. Dampak dari bencana tersebut bisa diprediksi dengan melakukan analisis stabilitas lereng guna menyelamatkan keselamatan banyak orang. Pada penelitian ini akan membahas tentang perbandingan nilai faktor keamanan Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb dan perbandingan nilai deformasi kondisi eksisting dan kondisi diberi beban gempa, melalui pendekatan *Hoek-Brown Failure Criterion* 2002 dengan menggunakan *Plaxis 3D*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lereng

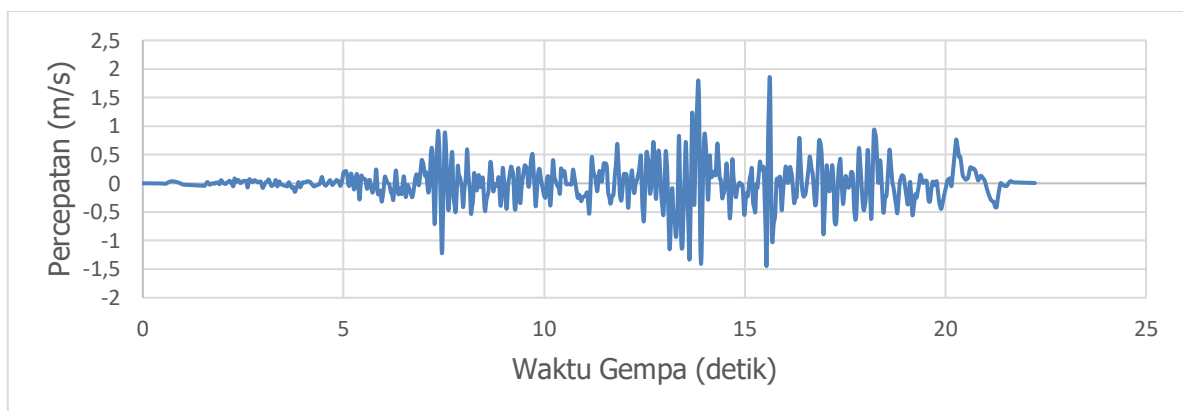
Lereng merupakan suatu kondisi topografi yang sering kita jumpai pada berbagai pekerjaan konstruksi sipil bahkan tempat umum lainnya. Lereng adalah suatu permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan, suatu permukaan yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah dengan bidang horizontal.

## 2.2 Kestabilan Lereng

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das 1985). Kemantapan (stabilitas) lereng adalah hal yang sangat penting dalam kegiatan yang berhubungan dengan proses penggalian dan penimbunan tanah, hal ini menyangkut soal keselamatan manusia. Maka dari itu diperlukannya analisis stabilitas lereng ini agar lereng aman terhadap segala macam bahaya seperti longsor yang dapat merugikan baik dari segi materi maupun nyawa.

## 2.3 Gempa Bumi

Berdasarkan Teori *Elastic Rebound* yang dinyatakan oleh Seismolog Amerika, Reid, (Bullen, 1965) menyatakan bahwa gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan, hal tersebut disebabkan oleh adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan lithosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terus menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan. Data gempa bumi yang digunakan didapatkan dari *website Peer Ground Motion Databases* (2023). Pada penelitian ini, gempa bumi yang dijadikan rujukan berada di wilayah Amerika, Kota California, Gunung Superstition pada tahun 1987 dengan magnitudo 6,54 Mw dengan durasi 22,23 detik dan percepatan maksimum 1,859 m/s.



**Gambar 1.** Grafik Korelasi Antara Waktu dan Percepatan di Wilayah Amerika pada Tahun 1987

## 2.4 Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown

Pada tahun 1994 Hoek, dkk melakukan pengembangan klasifikasi baru yang disebut *Geological Strength Index-GSI*, kemudian dimodifikasi (Hoek et al., 2002). Kriteria ini kemudian dikenal dengan Generalize Hoek-Brown Criterion pada **Persamaan 1** berikut ini.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha \quad (1)$$

## 2.5 Geological Strength Index (GSI)

Tahun 1994 Hoek, dkk memperkenalkan *Geological Strength Index* untuk memperkirakan berkurangnya kekuatan suatu massa batuan yang disebabkan oleh perbedaan kondisi geologi. Nilai GSI bisa didapat dengan dua cara, dengan melakukan pengamatan geologi di lapangan dengan bantuan **Tabel 1** dan diperkirakan berdasarkan hasil *Rock Mass Rating* (RMR) pengurangan seperti pada **Persamaan 2** berikut ini.

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5 \quad (2)$$

**Tabel 1.** Nilai GSI Berdasarkan Pengamatan Geologi di Lapangan

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				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	90	80	70	N/A	N/A
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	60	50	40	30	20
	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	N/A	N/A			10

(Sumber: Hoek,2006)

Setelah mendapatkan nilai GSI, diperlukan juga parameter-parameter untuk menggambarkan karakteristik batuan dengan menyelesaikan **Persamaan 3** hingga **Persamaan 5** hingga **Persamaan**. Setelah menyelesaikan persamaan, dapat dilihat konstanta  $m_i$  dan D dapat dilihat dari Practical Rock Engineering Hoek, E. (2006).

$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI-100}{28-14D} \right] \quad (3)$$

$$s = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right] \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right] \quad (5)$$

## 2.6 Rock Mass Rating

Nilai GSI dapat didapatkan dengan melakukan klasifikasi terlebih dahulu untuk massa batumannya dengan metode *Rock Mass Rating* (RMR). Nilai GSI yang diklasifikasikan ini kemudian disesuaikan dengan acuan yang ada yaitu Bieniawski pada tahun 1989. Parameter yang digunakan dalam klasifikasi adalah sebagai berikut:

- Uniaxial Compressive Strength* (UCS)
- Rock Quality Designation* (RQD)

- c. *Spacing of Discontinuities*
- d. *Condition of Discontinuities*
- e. *Ground Water Condition*

Parameter yang digunakan dalam penentuan *Rock Mass Rating* (RMR) perlu menggunakan korelasi empiris yang berasal dari Singh, b., & Goel, R.K., 1999 sebagai acuan.

### 2.7 Modulus Deformasi ( $E_m$ )

Modulus deformasi memungkinkan untuk dihitung dari persamaan Hoek Brown. Dengan cara memasukkan faktor D, kemudian memperhitungkan efek kerusakan akibat ledakan dan stress relaksasi yang besarnya dapat diperkirakan melalui **Persamaan 6**.

$$E_m \text{ (Gpa)} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \times \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \times 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (6)$$

**Persamaan 6** berlaku ketika  $\sigma_{ci} \leq 100 \text{ MPa}$ , sedangkan untuk  $\sigma_{ci} > 100 \text{ MPa}$  menggunakan **Persamaan 7** di bawah ini.

$$E_m \text{ (Gpa)} = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \times 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (7)$$

### 2.8 Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah perbandingan dari nilai gaya yang akan menahan dengan gaya yang menggerakkan pada tanah. Dapat dilihat pada **Tabel 4** rekomendasi nilai faktor keamanan pada kereng batuan.

**Tabel 4.** Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Batuan

Kondisi Lereng Batuan	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi Permanen	1,5
Kondisi Sementara	1,3

(Sumber: SNI 8460, 2017)

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Pengumpulan Data

Untuk melengkapi kebutuhan penelitian ini, terdapat beberapa data yang perlu dikumpulkan untuk menunjang hasil dari penelitian ini yang berada di bawah ini:

- a. Data Penyelidikan Tanah dan Laboraturium di Jawa Timur
- b. Data Topografi Lereng di Jawa Timur
- c. Data Gempa bersumber *website Peer Ground Motion Databases* (2023)

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer dari suatu wilayah di Jawa Timur, data bor log dan data hasil pengujian laboraturium ini kemudian diolah dan diklasifikasikan untuk dimodelkan menjadi lereng batuan yang mengikuti kondisi asli di wilayah tinjauan.

### 3.2 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga/*finite element method* (FEM) merupakan salah satu metode untuk digunakan dalam menghitung tegangan dan perpindahan pada material, metode elemen hingga seperti *Plaxis 3D*, adalah metode yang membagi suatu sistem struktur menjadi banyak elemen kecil yang disebut elemen hingga untuk menggambarkan reaksi material yang ada di dalamnya. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga akan memberikan gambaran mengenai besarnya perpindahan pada tiap titik simpul dan besarnya tegangan pada tiap elemen (Brady & Brown, 2005).

### 3.3 Metode Elemen Phi-C Reduction

Metode phi-c reduction adalah suatu *option* yang tersedia dalam aplikasi *Plaxis 3D* untuk perhitungan faktor keamanan (FK), *option* ini tersedia untuk tipe perhitungan *plastic*

menggunakan *manual control*. Pada phi-c reduction dilakukan pendekatan parameter dari  $\phi$  dan c dengan mengurangi nilainya sampai tercapai keadaan dimana kegagalan strktuktur terjadi.

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengolahan Data Parameter Batuan

Berikut dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** parameter batuan yang akan digunakan untuk *soil model* Hoek-Brown dan Mohr Coulomb yang sudah dianalisis berdasarkan **Subbab 4** hingga **Subbab 7**.

**Tabel 5.** Parameter Batuan Andesite Hoek Brown

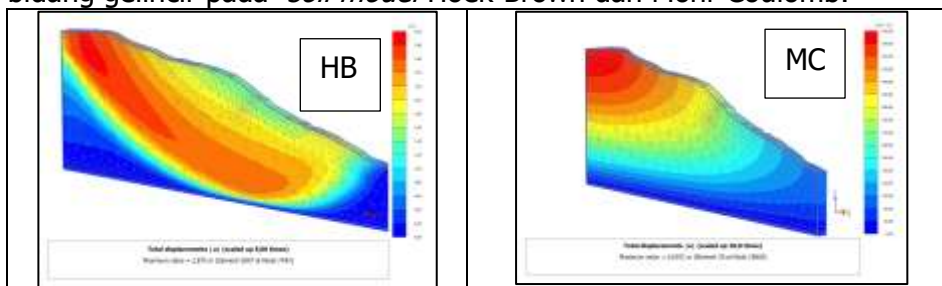
HOEK-BROWN		
Parameter	Satuan	Nilai
$\gamma_{sat}$	$\text{kN}/\text{m}^3$	26,50
$\gamma_{unsat}$	$\text{kN}/\text{m}^3$	26,43
$E_m$	$\text{kN}/\text{m}^3$	101.730,55
$\nu$	-	0,2
$\sigma_{ci}$	$\text{kN}/\text{m}^3$	34.692,59
$m_i$	-	30
GSI	-	47
$m_b$	-	1,6308
s	-	0,00046
a	-	0,50704
D	-	0,7

**Tabel 6.** Parameter Batuan Andesite Mohr Coulomb

MOHR-COULOMB		
Parameter	Satuan	Nilai
$\gamma_{sat}$	$\text{kN}/\text{m}^3$	26,50
$\gamma_{unsat}$	$\text{kN}/\text{m}^3$	26,43
$E_m$	$\text{kN}/\text{m}^2$	101.730,55
$\nu$	-	0,2
$\phi'$	$^\circ$	62,384
$c'$	$\text{kN}/\text{m}^2$	111,508

##### 4.2 Analisis Stabilitas Lereng Batuan Eksisting

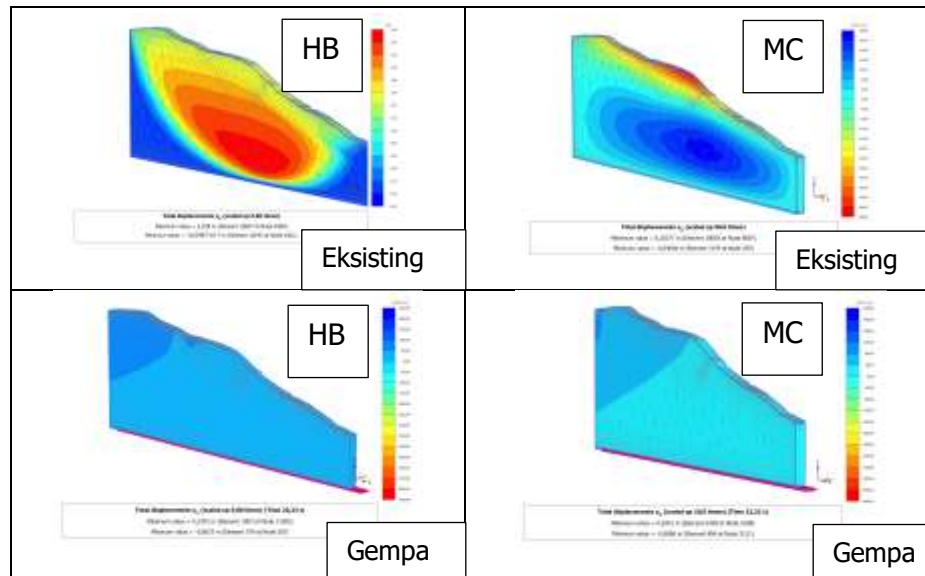
Analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting dimodelkan untuk bisa mengetahui bidang kelongsoran dan faktor keamanan pada lereng. Berikut dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** bidang gelincir pada *soil model* Hoek-Brown dan Mohr Coulomb.



**Gambar 2.** Bidang Gelincir Kondisi Eksisting Hoek Brown dan Mohr Coulomb

### 4.3 Analisis Deformasi Lereng Batuan dengan Beban Gempa

Analisis deformasi ini akan membandingkan nilai deformasi  $u_x$  dan  $u_y$  *soil model* Hoek brown dan Mohr Coulomb saat kondisi eksisting dan kondisi diberi beban gempa yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Deformasi  $u_x$  Eksisting dan Beban Gempa HB dan MC

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pemodelan lereng batuan, kestabilan lereng pada lokasi yang ditinjau saat kondisi eksisting dinyatakan stabil dikarenakan memiliki nilai  $SF > 1,5$  sesuai dengan persyaratan dalam SNI 8460:2017 baik untuk *soil model* Hoek Brown dengan  $SF=5,835$  dan Mohr Coulomb dengan  $SF=7,316$ , perbedaan  $SF$  sebesar 25,38%. Untuk deformasi eksisting memiliki perbedaan sebesar 89,80%, untuk beban gempa sebesar 11,29%.

## DAFTAR RUJUKAN

- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification. A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley and Sons
- Brady, B.H.G., Brown, E.T. (2005). *RockMechanics fo UndergroundMining*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 183p
- Bullen, K.E., dan Bruce, A.B., (1965) "An Introductionto The Theory of Seismology". *FourthEdition: Cambridge University Press*,
- Hoek, E. (1994). *Strength of rock and rock masses, ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.
- Hoek, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. Toronto: s.n.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition. Proceedings of NARMS-Tac*, 1(1), 267-273
- Sing, B., & Goel, R.K. (1999). *Rock Mass Classification: A Practical Approach in Civil Engineering*. Roorkee, India: Elsevier.
- SNI 8460. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.