

## PREDIKSI PENURUNAN GEDUNG DAN DAYA DUKUNG MENGGUNAKAN HASIL UJI PLATE BEARING DI LABUAN BAJO, NTT

Reyner Kwandy<sup>1</sup>, Gregorius Sandjaja Sentosa<sup>2</sup> dan Ali Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: reynerkwandy96@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: gregoriuss@ft.untar.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
Email: ali.iskandar1999@gmail.com

### ABSTRAK

Penurunan dapat terjadi secara seketika pada saat pembebanan terjadi dalam jangka waktu yang pendek. Dalam merancang bangunan ada dua hal yang perlu diperhatikan yaitu kegagalan pondasi yang harus dihindari dengan margin keselamatan yang memadai (daya dukung) dan penurunan yang dapat ditoleransi. Dilakukan back analysis pada tes beban menggunakan program untuk mengetahui perilaku tanah terhadap tes beban yang telah dilakukan dengan skala penuh. Untuk memeriksa plate bearing test maka, parameter tanah yang digunakan adalah berdasarkan tes in situ dan laboratorium sehingga diperoleh kurva yang dibandingkan dengan kurva dari plate bearing test dan dilihat apakah sudah mirip. Selain itu dilakukan juga analisis pada pondasi-pondasi dengan menggunakan program yang menampilkan penurunan maksimum di resor Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur.

Kata kunci: penurunan, daya dukung, plate bearing test

## 1. PENDAHULUAN

### Latar belakang

*Plate bearing test* adalah uji pembebanan terhadap *subgrade* atau tanah dasar pendukung pondasi dengan cara membebani pelat besi berbentuk lingkaran dan kemudian mengukur penurunan yang terjadi. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolis dengan kapasitas 30 ton, dongkrak diletakkan di atas pelat yang akan dibebani. Dengan didapatnya nilai *subgrade reaction* dan daya dukung tanah maka, akan dipergunakan untuk menyempurnakan perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi.

Dalam merencanakan suatu konstruksi harus dilakukan secara hati-hati dan teliti. Semua konstruksi yang akan direncanakan akan ditopang oleh tanah. Tanah sebagai dasar dari pondasi diharapkan memiliki daya dukung yang baik dan mengalami penurunan yang relatif kecil. Tanah akan diuji untuk mendapat nilai parameter tanah sehingga jenis dan sifat tanah dapat diketahui sehingga kita dapat menentukan ukuran dan jenis pondasi untuk suatu konstruksi.

Meskipun pondasi nya yang dirancang dapat menahan penurunan tetapi para ahli teknik sipil masih harus memprediksi penurunan gedung tersebut dengan parameter tanah yang telah tersedia dan hasil test dari *plate bearing test*. Pada pembahasan kali ini, proyek yang dibahas adalah pembangunan yang berada di Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur. Analisis penurunan yang dilakukan dibantu dengan *software computer*.

### Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai deformasi berdasarkan hasil plate bearing test, memperoleh kecocokan pola deformasi yang terjadi antara hasil Plate Bearing Test dengan pemodelan pada program, dan mengetahui daya dukung pondasi di Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur.

### *Immediate settlement, primary consolidation settlement, dan secondary consolidation settlement*

*Immediate Settlement* adalah penurunan yang terjadi seketika pada saat pembebanan terjadi atau dalam jangka waktu yang pendek. *Immediate settlement* biasa terjadi pada saat konstruksi berlangsung dan terjadi pada tanah yang berbutir kasar. *Primary Consolidation Settlement* adalah penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. *Secondary Consolidation Settlement* adalah penurunan setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. *Secondary Consolidation Settlement* terjadi setelah *Primay Consolidation Settlement* terjadi.

### **Plate bearing test**

*Plate Bearing Test* adalah metode yang dilakukan dengan memberikan tekanan pada tanah dan metode paling handal untuk mendapatkan daya dukung tanah pada lapisan tanah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *bearing plate* yang berbentuk lingkaran yang kemudian dongkrak hidrolik diletakan di atas *bearing plate* yang diberikan tekana dengan interval waktu tertentu, dan kemudian uji *Plate Bearing* dilanjutkan sampai pembebanan paling maksimum atau penurunan yang paling maksimum.

### **Persamaan daya dukung berdasarkan data N-SPT**

Menurut (SNI 4153: 2008), *Standard Penetration Test* (SPT) merupakan metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Pelaksanaan pengujian dibagi menjadi tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan (dinyatakan dalam pukulan/0.3 m). Nilai N-SPT yang diperoleh harus dikoreksi lagi karena beberapa faktor, yaitu faktor pelaksanaan di lapangan, efisiensi alat, dan *overburden pressure*. Nilai N-SPT koreksi diperoleh dari persamaan:

$$N'_{70} = C_N \times N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad (1)$$

Keterangan:

$$C_N = \left( \frac{P_o''}{P_o'} \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ di mana } P_o'' = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ dan } P_o' = \text{overburden pressure}$$

$N$  = Jumlah N-SPT di lapangan

$\eta_1$  = *hammer correction*

$\eta_2$  = *rod length correction*

$\eta_3$  = *sampler correction*

$\eta_4$  = *borehole diameter correction*

Untuk persamaan daya dukung berdasarkan data N-SPT dengan persamaan:

Jika  $B$  (lebar pondasi)  $\leq F_4$

$$Q = \frac{N}{F_1} Kd \quad (2)$$

Jika  $B$  (lebar pondasi)  $> F_4$

$$Q = \frac{N}{F_1} \left( \frac{B+F_3}{B} \right)^2 Kd \quad (3)$$

Keterangan:

$$Kd = 1 + 0.33 \frac{D}{B} \leq 1.33 \quad (4)$$

$B$  = Lebar Pondasi

$F_1$  = 0.04 (faktor koreksi)

$F_2$  = 0.06 (faktor koreksi)

$F_3$  = 0.3 (faktor koreksi)

$F_4$  = 1.2 (faktor koreksi)

### **Rock mass classification**

*Rock mass classification* telah dikembangkan selama lebih dari 100 tahun oleh Ritter (1879). Ritter melakukan pendekatan empiris untuk perancangan terowongan, khususnya untuk menentukan persyaratan dukungan. Berikut ini adalah sistem *rock mass classification* yang dikembangkan oleh Deere dan Bieniawski.

### RQD (Rock Quality Design)

RQD adalah komponen dasar dari banyak sistem *rock mass classification*. RQD (Rock Quality Design) pertama kali dikembangkan oleh Deere pada tahun 1963 untuk memberikan perkiraan kualitas massa batuan. Berikut adalah tabel yang menunjukkan nilai-nilai RQD dengan nilai daya dukung ijin (*allowable pressure*).

Tabel 1 Nilai Daya Dukung Ijin (*Allowable Pressure*) (Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden W.F., 1995)

RQD (%)	Rock Mass Quality	Allowable Pressure (MPa)
100	Excellent	29
90	Good	19
75	Fair	12
50	Poor	6
25	Very Poor	3
0	Soil-like	1

### RMR (Rock Mass Rating)

Bieniawski (1976) mempublikasikan sebuah klasifikasi batuan yang disebut *Rock Mass Rating*. Metode klasifikasi ini dapat diterapkan pada beberapa situasi, seperti tambang, lereng, pondasi, dan terowongan. Menurut Bieniawski (1976), terdapat enam parameter untuk mengklasifikasi massa batuan dengan menggunakan RMR sebagai berikut.

1. Kuat tekan batuan
2. RQD (Rock Quality Design)
3. Jarak diskontinuitas
4. Kondisi diskontinuitas
5. Kondisi air tanah
6. Orientasi diskontinuitas

Berikut adalah tabel yang menunjukkan nilai-nilai *rating* dari sistem RMR dengan daya dukung ijin (*allowable pressure*).

Tabel 2 Daya Dukung Ijin dengan Sistem RMR (Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madra, 2016)

Classification no.	I	II	III	IV	V
Description of rock	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
$q_u$ (Mpa)	6.0-4.5	4.5-2.9	2.9-1.5	1.5-0.6	0.6-0.4

## 2. METODE PENELITIAN

### Metode pengumpulan data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data adalah dari penyelidikan tanah dan dari hasil uji *Plate Bearing Test*. Setelah data didapatkan, data kemudian dikorelasikan agar diperoleh parameter tanah yang cocok untuk dilakukan pemodelan *plate bearing test* yang dicocokkan dengan hasil lapangan. Kemudian dari pemodelan tersebut berupa nilai deformasi untuk proyek di Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur.

### Metode analisis data

Metode analisis yang digunakan untuk menganalisa data menggunakan program berbasis elemen hingga (2D) dan program yang menghitung penurunan verikal dan konsolidasi di bawah beban permukaan seperti pondasi (3D).

Sebelum dilakukannya analisis data, perlu adanya studi *literature* dengan mencari dasar–dasar teori dan sumber data seperti journal, buku referensi untuk mendapatkan rumus–rumus.

### 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### Kesimpulan parameter

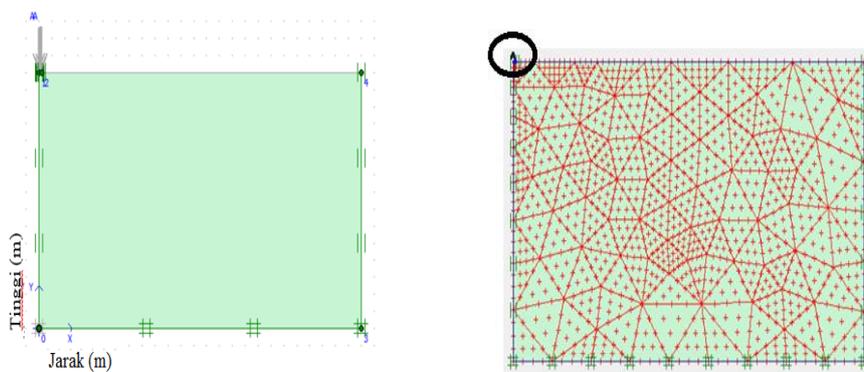
Berdasarkan dari hasil uji laboratorium, hasil korelasi, dan hasil penyelidikan tanah di lapangan, diperoleh data untuk digunakan pada pemodelan pada program berbasis elemen hingga (2D) dan program berbasis 3D . Berikut merupakan kesimpulan parameter tanah yang digunakan untuk pemodelan dari *Plate Bearing Test* dan pemodelan pada pondasi-pondasi di proyek Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3 Tabel Parameter Tanah

Tabel Parameter Tanah		
Parameter	Lempung bercampur batu dan kerikil	Satuan
Kedalaman	0-15	meter
Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ )	21.2	$\text{kN}/\text{m}^3$
Permeabilitas arah horizontal ( $K_x$ )	864	m/hari
Permeabilitas arah vertikal ( $K_y$ )	864	m/hari
Modulus Young ( $E_s$ )	175000	$\text{kN}/\text{m}^2$
Poisson's Ratio ( $\nu$ )	0.35	-
Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	34	°
Sudut Dilatasi	15	°

#### Pemodelan *plate bearing test* pada program berbasis elemen hingga (2D)

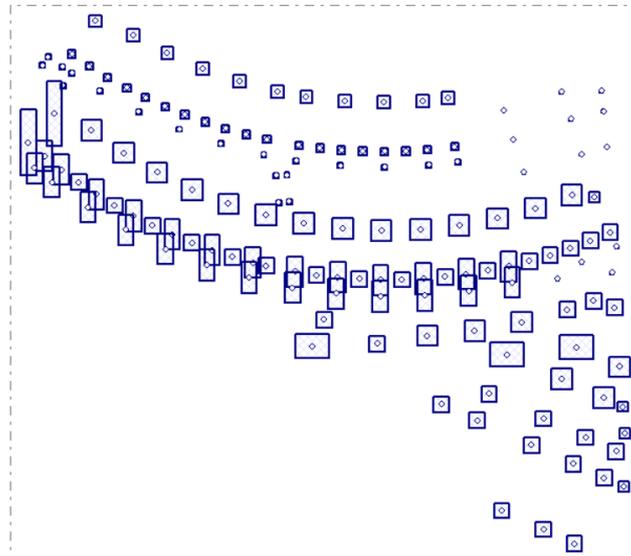
Berdasarkan hasil parameter tanah yang telah ditentukan, akan dimasukkan ke dalam program dengan nilai parameter tanah yang sudah ditentukan. Di pemodelan tersebut diletakkan beban yang merupakan pelat berbentuk lingkaran di atas permukaan tanah. Pada pemodelan tersebut ditentukan titik yang ditinjau agar diperoleh kurva *displacement*. Hasil dari pemodelan program diperoleh grafik deformasi yang dicocokkan dengan hasil uji *Plate Bearing Test* di lapangan.



Gambar 1 Pemodelan dengan Parameter Tanah (kiri) dan Titik yang ditinjau (kanan)

### Pemodelan pondasi-pondasi pada program

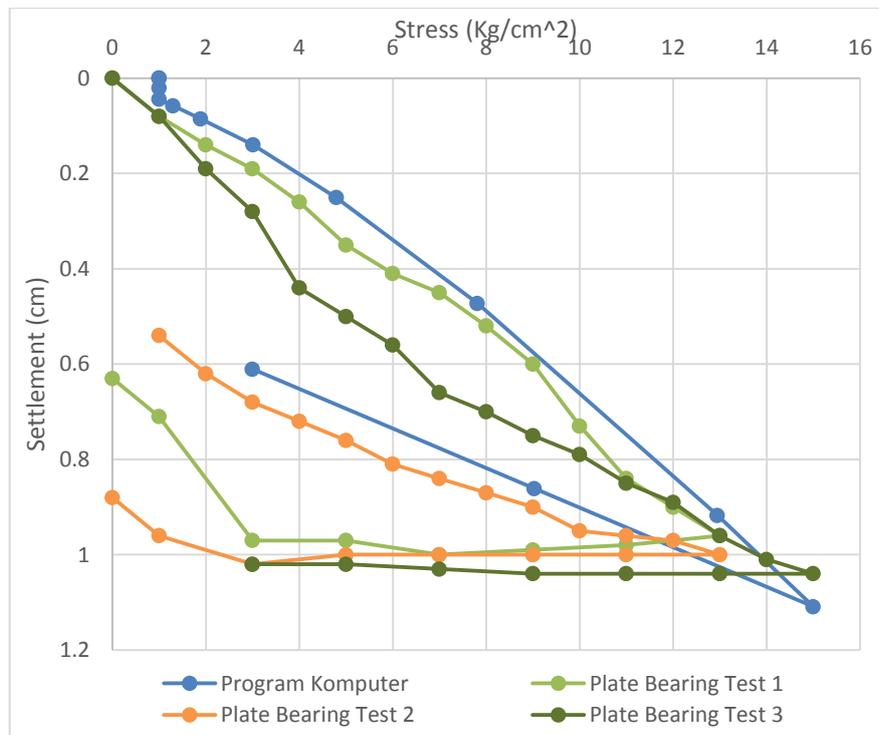
Selain pemodelan pada *Plate Bearing Test*, dilakukan juga pemodelan pada pondasi-pondasi untuk memperoleh nilai penurunan yang terjadi di proyek Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur. Dengan menggunakan parameter tanah yang sama pada program sebelumnya. Pada pemodelan ini dilakukan dengan tiga metode, yaitu metode Boussinesq, 2:1, dan Westergaard.



Gambar 3 Pemodelan pada Pondasi-Pondasi

### Hasil pemodelan dengan *plate bearing test*

Berdasarkan hasil pemodelan *Plate Bearing Test* dengan program di atas, maka diperoleh data yang disimpulkan dalam bentuk grafik pola penurunan yang dicocokkan dengan hasil uji *Plate Bearing Test*. Grafik tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5 Kurva Program dan *Plate Bearing Test*

Berdasarkan hasil pemodelan *Plate Bearing Test* tersebut didapat nilai *settlement* yang dari pemodelan dari program mendekati dengan hasil dari uji *Plate Bearing Test 3*.

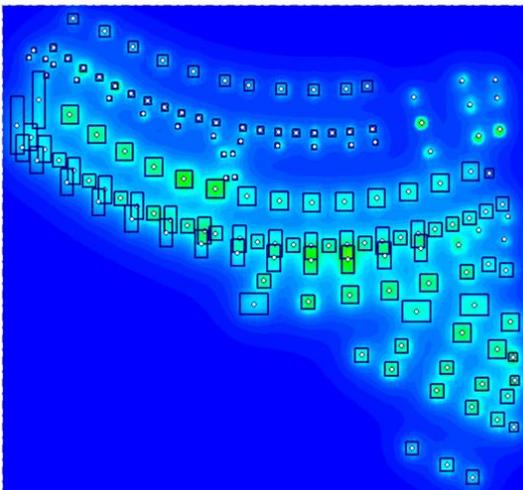
### Hasil pemodelan pondasi dengan program

Berdasarkan dari hasil pemodelan dengan tiga metode diperoleh hasil penurunan sebagai berikut.

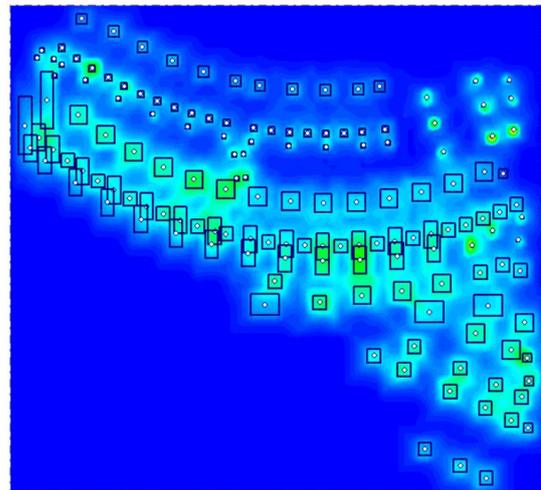
Tabel 4 Penurunan Maksimum

Jenis analisis	Penurunan Maksimum (cm)
Metode Boussinesq	2.17
2 : 1	2.46
Westergaard	2.21

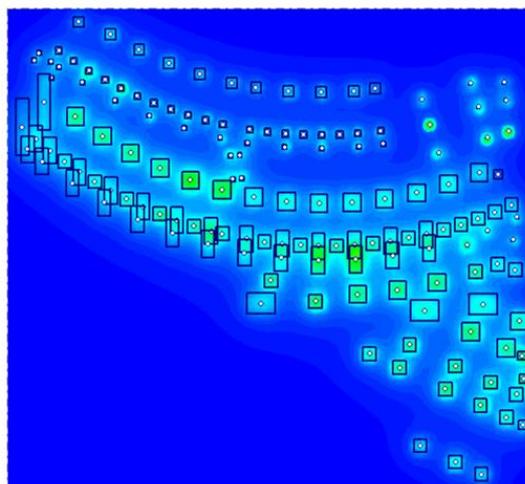
Berikut adalah gambar hasil pemodelan dari ketiga metode sebagai berikut.



Gambar 4 Metode Boussinesq



Gambar 5 Metode 2:1



Gambar 6 Metode Westergaard

### Perhitungan daya dukung

Perhitungan daya dukung dilakukan dengan metode berdasarkan N-SPT, RQD (Rock Quality Design), dan RMR (Rock Mass Rating). Tanah pada proyek di Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur merupakan tanah lempung bercampur batu dan kerikil-kerikil. Jenis batuan yang terdapat di proyek merupakan batu dasit yang merupakan jenis batuan beku. Batu dasit tersebut sangat lapuk sehingga batu akan hancur ketika disentuh. Maka, berdasarkan tabel 1 nilai daya dukung yang diperoleh dari RQD (Rock Quality Design) adalah di bawah 25% dengan nilai daya dukung sebesar 1-3 Mpa.

Jika dengan sistem RMR maka, diperlukan nilai rating-rating yang dapat diperoleh dari tabel 5. Nilai rating yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan tabel 2.

Dari tabel diatas diperoleh nilai-nilai rating yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5 *Rock Mass Rating System* (Hoek, Kaiser P.K., Bawden W.F., 1995)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS							
Parameter		Range of values					
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index >10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred	
		Uniaxial comp. strength >250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa < 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1 0
2	Drill core Quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
	Rating	20	17	13	8	3	
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Rating	20	15	10	8	5	
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous	
		Rating	30	25	20	10	0
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		(Joint water press)/ (Major principal $\sigma$ )	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
		Rating	15	10	7	4	0
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)							
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable	
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12	
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25	
	Slopes	0	-5	-25	-50		
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS							
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number	I	II	III	IV	V		
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES							
Class number	I	II	III	IV	V		
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions							
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating	6	4	2	1	0		
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating	6	5	4	1	0		
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
Rating	6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating	6	4	2	2	0		
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Rating	6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**							
Strike perpendicular to tunnel axis			Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°		
Very favourable	Favourable		Very unfavourable		Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°				
Fair	Unfavourable		Fair				

Tabel 6 Nilai Rating RMR

Parameter	Value	Rating
Kuat tekan	100-250 Mpa	12
RQD	< 25%	3
Jarak diskontuitas	< 60 mm	5
Kondisi diskontuitas	<i>Separation Continuous</i> >5mm	0
Kondisi air tanah	<i>None</i>	15
Orientasi diskontuitas	<i>Very Unfavourable</i>	-25

Dari tabel tersebut diperoleh nilai rating sebesar 10 dan berdasarkan tabel 2 maka, nilai rating 10 masuk dikategori batu very poor dengan nilai daya dukung sebesar 0.6-0.4 Mpa.

Perhitungan dengan cara N-SPT dapat dilihat sebagai berikut dengan ukuran pondasi 1.5 meter x 1.5 meter dengan menghitung N koreksi terlebih dahulu.

Diketahui:

1. Ukuran Pondasi = 1.5 m x 1.5 m
2. N-SPT = 20
3.  $\gamma$  (berat jenis tanah) = 20 kN/m<sup>3</sup>

$$\text{Maka, } P_o' = 20 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$P_o'' = 1 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$C_N = \left( \frac{P_o''}{P_o'} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$C_N = \left( \frac{100}{20} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.236$$

$$\eta_1 = 1.14, \eta_2 = 0.75, \eta_3 = 1, \eta_4 = 1$$

$$N'70 = C_N \times N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

$$\text{Maka, } N'70 = 2.236 \times 20 \times 1.14 \times 0.75 \times 1 \times 1 = 38.2356$$

$$\text{Diketahui } F1 = 0.04, F2 = 0.06, F3 = 0.3, F4 = 1.2$$

$$\text{Karena } B > F4 \text{ maka, } Q = \frac{N}{F2} \left( \frac{B+F3}{B} \right)^2 \text{ Kd}$$

$$Kd = 1 + 0.33 \left( \frac{1}{1.5} \right) \leq 1.33$$

$$Kd = 1.22 \leq 1.33$$

$$Q = \frac{38.2356}{0.06} \left( \frac{1.5+0.3}{1.5} \right)^2 \times 1.22 = 1119.538 \text{ kN/m}^2$$

Berikut adalah tabel hasil daya dukung yang diperoleh berdasarkan ukuran-ukuran pondasi di proyek sebagai berikut.

Ukuran Pondasi (m)	N	N' 70	Kd	Q ( kN/m <sup>2</sup> )
--------------------	---	-------	----	-------------------------

Tabel 7							Daya Dukung N-SPT
Berdasarkan	<input type="checkbox"/>	1 x 1	20	38.2356	1.33	1271.337	
	<input type="checkbox"/>	1.5 x 1.5	20	38.2356	1.22	1119.538	
	<input type="checkbox"/>	2 x 2	20	38.2356	1.165	981.834	
	<input type="checkbox"/>	2.4 x 2.4	20	38.2356	1.1375	917.430	
	<input type="checkbox"/>	3 x 3	20	38.2356	1.11	855.904	
	<input type="checkbox"/>	4 x 4	20	38.2356	1.0825	797.189	

#### 4. KESIMPULAN

- Berdasarkan dari pemodelan *Plate Bearing Test* dengan menggunakan program diperoleh deformasi maksimum sebesar 1.1 cm dengan beban maksimum sebesar 15 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil tersebut mendekati dengan hasil uji *Plate Bearing Test* di lapangan.
- Berdasarkan dari pemodelan pondasi-pondasi dengan program diperoleh penurunan sebagai berikut.

Tabel 8 Penurunan Maksimum

Jenis analisis	Penurunan Maksimum (cm)
Metode Boussinesq	2.17
2 : 1	2.46
Westergaard	2.21

- Analisis daya dukung dengan menggunakan *Rock Quality Design (RQD)*, *Rock Mass Rating (RMR)*, dan perhitungan berdasarkan N-SPT diperoleh daya dukung sebagai berikut.

Tabel 9 Hasil Daya Dukung

	N-SPT	RQD	RMR
Ukuran Pondasi	Daya Dukung (kN/m <sup>2</sup> )	Daya Dukung (kN/m <sup>2</sup> )	Daya Dukung (kN/m <sup>2</sup> )
1 x 1 m	1435.740	1000-3000	400-600
1.5 x 1.5 m	1119.538	1000-3000	400-600
2 x 2 m	981.834	1000-3000	400-600

	N-SPT	RQD	RMR
2.4 x 2.4 m	917.430	1000-3000	400-600
3 x 3 m	855.904	1000-3000	400-600
4 x 4 m	797.189	1000-3000	400-600

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. (1982). *Foundation Analysis And Design*, 3<sup>rd</sup> ed. Peoria, Illinois: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden W.F.(1995). *Rock Engineering*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras. *Module 9: Foundations on Rocks, Lecture 32*. Tersedia di [www: https://nptel.ac.in/courses/105106055/Mod9/Lecture32.pdf](https://nptel.ac.in/courses/105106055/Mod9/Lecture32.pdf) (23 Desember 2018).
- Pranoto Y. dan Setiabudi R. (2017). "Evaluasi Penurunan Gedung dan Metode Perbaikannya". *Jurnal Teknik Mesin*. Volume (6): halaman 102
- SNI 4153: 2008. *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*.