



# ANALISIS LIKUEFAKSI BERDASARKAN DATA CPT UNTUK PERANCANGAN PONDASI DI PESISIR PANTAI KABUPATEN KULON PROGO DIY

VEBRIAN ANGGARA<sup>1</sup>, FERRY FATNANTA<sup>1\*</sup>, MUHAMAD YUSA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau

\*Corresponding author: ✉ [ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id](mailto:ferry.fatnanta@lecturer.unri.ac.id)

Naskah diterima : 9 Maret 2020. Disetujui: 9 Juli 2020

---

## ABSTRAK

Yogyakarta Special Region (DIY) is an area that has a high level of seismic activity in Indonesia. This is due to various local faults near the land and its location adjacent to the subduction of the Indo-Australian and Eurasian plates. The proposed new airport is located on the coast in Kulon Progo Regency DIY. The location is dominated by the sands layer and it has high ground water levels which indicate the high potential of liquefaction. The site classes of the coast in Kulon Progo Regency is medium category (SD). Liquefaction analysis using the  $PGA_M$  value of 0.4 g. Liquefaction has the potential to occur in soil layers 0 - 6 meters. The analysis shows for earthquake of  $\geq 6.3$  Mw has a very high category of liquefaction. The analysis results has  $LPI \geq 29.30$  for ground water conditions at the surface, and  $LPI \geq 15.32$  for ground water conditions in depths of 3 meters. Estimated soil settlements of 19.7 cm for magnitude of 8.1 Mw with ground water conditions at the surface. The use of shallow foundations at soil depths of 0-6 meters is not recommended, unless a soil improvement method is used to eliminate the potential for liquefaction.

**Kata kunci** : liquefaction, LPI, magnitude, settlements

---

## 1. PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan kawasan yang secara tektonik memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi di Indonesia. Aktivitas kegempaan ini terjadi dikarenakan lokasinya yang berdekatan dengan zona tumbukan lempeng Indo-australia dan Eurasia. DIY juga sangat rawan gempa bumi akibat aktivitas berbagai sesar lokal di daratan. Kondisi tektonik semacam ini menjadikan DIY dan sekitarnya sebagai kawasan seismik aktif dan kompleks.

Investigasi geoteknik dilakukan di kawasan pesisir pantai Kabupaten Kulon Progo DIY pada lahan 587.3 hektar. Investigasi geoteknik menggunakan CPT tipe mekanik (CPTm). Akan tetapi, untuk analisis potensi likuefaksi data mekanik perlu dikoreksi menjadi data elektrik (CPTe). Hal ini dikarenakan metode Boulanger and Idriss (2014) menggunakan data elektrik sebagai data analisisnya. Investigasi geoteknik menunjukkan karakteristik lapisan

tanahnya merupakan pasir dan pasir berlanau. Maka dari itu, potensi likuefaksi perlu dianalisis di beberapa lahan tanahnya.

Potensi likuefaksi dianalisis menggunakan metode Boulanger and Idriss (2014). Analisis ini dilakukan untuk mengkaji potensi terjadinya likuefaksi pada variasi skala magnitudo gempa bumi tertentu (LPI) dan taksiran besar penurunan lapisan tanah. Sehingga, perancangan fondasi di pesisir pantai Kabupaten Kulon Progo DIY bisa diperhitungkan keamanannya.

## **2. INVESTIGASI GEOTENIK DAN LIKUEFAKSI**

### **2.1. Likuefaksi**

Likuefaksi adalah fenomena yang terjadi ketika tanah yang jenuh atau agak jenuh kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat adanya tegangan, misalnya bersumber dari getaran gempa bumi atau perubahan ke tegangan lain secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cairan atau air berat. Kriteria umum yang menjadi syarat terjadinya likuefaksi yaitu tanah pasir lepas, bentuk butiran tanah pasir yang seragam, muka air tanah tinggi, dan gempa bumi umumnya dengan skala  $\geq 6$  Mw. Nasional (2008) memaparkan potensi terjadinya likuefaksi untuk lapisan tanah pasir mempunyai ciri muka air tanah kurang dari 10 m dan lapisan tanah pasir jenuh air kurang dari 20 m.

### **2.2. Sondir (Cone Penetration Test, CPT)**

CPT adalah investigasi geoteknik dengan melakukan penetrasi konus ke dalam tanah. Investigasi ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah berdasarkan parameter perlawanan tanah terhadap ujung konus ( $q_c$ ) dan hambatan lekat tanah dengan selubung konus ( $f_s$ ). Investigasi geoteknik CPT di lapangan terdiri dari CPT mekanik (CPTm) dan CPT elektrik (CPTe). Meisina (2017) telah melakukan studi perbedaan analisis likuefaksi terhadap kedua tipe CPT ini.

#### **2.2.1. Korelasi Data CPT dan Berat Isi Tanah**

Nilai berat isi tanah ( $\gamma$ ) dapat ditentukan berdasarkan nilai  $q_c$  pengujian CPTe di lapangan. Robertson and Cabal (2010) memberikan persamaan empiris untuk mendapatkan nilai berat isi tanah.

$$\gamma / \gamma_w = 0,27 [\log R_f] + 0,36 [\log (q_c / p_a)] + 1,236 \quad (1)$$

Dimana:

- $R_f$  = *Friction ratio*, =  $f_s/q_t$  (100%),
- $\gamma$  = Nilai berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ ),
- $\gamma_w$  = Nilai berat isi air ( $9,81 \text{ kN/m}^3$ ),
- $P_a$  = Tekanan atmosfer (1 atm),
- $q_t$  = Nilai  $q_c$  pengujian CPTe ( $\text{kg/cm}^2$ ).

#### **2.2.2. Korelasi Data CPT dan Kecepatan Gelombang Geser**

Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) merupakan parameter dinamis tanah untuk menentukan klasifikasi situs tanah. Nilai  $V_s$  dapat ditentukan secara langsung dengan pengujian di lapangan atau melalui persamaan empiris. Ahmed (2017) menggunakan persamaan empiris korelasi data CPTe terhadap  $V_s$  yang diprakarsai oleh Wair (2012) berikut.

$$V_s = 118.8 \log f_s + 18.5 \quad (2)$$

$$V_s = 2.41 q_t^{0.395} I_c^{0.124} \quad (3)$$

$$V_s = [10^{(0.55 I_c + 1.68)} \left( \frac{q_t - \sigma_v}{P_a} \right)]^{0.5} \quad (4)$$

Dimana:

- $f_s$  = Nilai *local side friction*,
- $I_c$  = Indeks tipe perilaku tanah,
- $P_a$  = Tekanan atmosfer,
- $q_t$  = Nilai perlawanan ujung konus,
- $V_s$  = Kecepatan gelombang geser,
- $\sigma_v$  = Tegangan normal vertikal.

### 2.2.3. Korelasi Data CPT dan N-SPT

Nilai jumlah pukulan *Standard Penetration Test* (N-SPT) dapat ditentukan berdasarkan nilai  $q_c$  pengujian CPTm di lapangan. Meyerhof (1956) memberikan persamaan empiris untuk mendapatkan nilai N-SPT untuk tanah pasir.

$$q_c = 4 N \quad (5)$$

Dimana:

- $q_c$  = Nilai perlawanan konus (kg/cm<sup>2</sup>),
- $N$  = Nilai jumlah pukulan pengujian SPT.

### 2.3. Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah berpengaruh terhadap analisa dampak likuefaksi pada lapisan tanah. Kelas situs tanah ditentukan berdasarkan parameter  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{N}$ , dan  $\bar{s}_u$ . Nasional (2012) memaparkan kriteria penentuan kelas situs tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kelas Situs Tanah Berdasarkan Parameter  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{N}$ , dan  $\bar{s}_u$ .

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40 \%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa.</li> </ol>			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuefaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah,</li> <li>2. Lempung kadar organik tinggi atau gambut, dengan ketebalan, <math>H &gt; 3</math> m,</li> <li>3. Lempung dengan plastisitas sangat tinggi, dengan ketebalan, <math>H &gt; 7.5</math> m, dengan indeks plastis, <math>PI &gt; 75</math>,</li> <li>4. Lempung lunak, dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>S_u &lt; 50</math> kPa.</li> </ol>		

Catatan: N/A = Tidak dapat dipakai.

## 2.4. Metode Boulanger dan Idriss 2014

Metode Boulanger and Idriss (2014) adalah pendekatan berbasis tegangan untuk mengevaluasi potensi likuefaksi. Metode ini membandingkan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yang diinduksi gempa bumi dengan CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dari tanah. CRR tanah berkorelasi dengan parameter *in-situ* seperti ketahanan CPT atau kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Pendekatan berbasis tegangan dapat dijelaskan pada prosedur analisis.

### 2.4.1. CSR yang Diinduksi Gempa Bumi

CSR yang diinduksi gempa bumi, pada kedalaman tertentu ( $z$ ), dalam profil tanah, biasanya dinyatakan sebagai nilai representatif (nilai seragam yang setara) yang setara dengan 65% dari rasio siklik tegangan geser maksimum.

$$CSR_{\sigma'_v} = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{a_{max}}{g} r_d \quad (6)$$

Dimana:

$\sigma_v$  = Tegangan total vertikal pada kedalaman  $z$ ,

$a_{max}/g$  = Akselerasi horizontal maksimum (sebagai fraksi gravitasi) pada permukaan tanah,

$r_d$  = Faktor reduksi tegangan geser yang memperhitungkan dinamis respons dari profil tanah.

### 2.4.2. CSR dan Resistansi CPT

CRR berkorelasi dengan CPT dalam penerapan koreksi terhadap tegangan *overburden*. Data CPT dikoreksi pada tahanan ujung ( $q_c$ ) untuk efek area ujung yang tidak sama. Boulanger and Idriss (2014) memberikan persamaan sebagai,

$$CRR_{M,\sigma'_v} = CRR_{M=7.5,\sigma'_v=1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (7)$$

$$CRR_{M=7.5,\sigma'_v=1} = \exp\left[\frac{qc1Ncs}{113} + \left(\frac{qc1Ncs}{1000}\right)^2 - \left(\frac{qc1Ncs}{140}\right)^3 + \left(\frac{qc1Ncs}{137}\right)^4 - 2.80\right] \quad (8)$$

Dimana:

$K_\sigma$  = Faktor koreksi *overburden*,

MSF = *Magnitude scale factor*,

$qc1Ncs$  = Resistansi penetrasi yang akan diperoleh dalam pasir bersih.

### 2.4.3. Faktor Aan terhadap Likuefaksi (FS)

Untuk menentukan nilai kemanan suatu lapisan tanah terhadap bahaya likuefaksi, maka diberikan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (9)$$

Dimana:

CRR = Rasio tahanan siklik (*Cyclic resistance ratio*),

CSR = Rasio tegangan siklik (*Cyclic stress ratio*),

FS = Faktor keamanan (*Factor of safety*).

### 2.4.4. Indeks Potensi Likuefaksi (*Liquefaction Potential Index, LPI*)

LPI adalah suatu indeks yang digunakan untuk estimasi potensi likuefaksi yang menyebabkan kerusakan fondasi. Iwasaki (1978) memberikan nilai LPI untuk tinjauan profil tanah kedalaman 20 meter.

$$LPI = \int_0^{20\text{ m}} F w(z) dz \quad (10)$$

$$F = 1 - FS \quad \text{untuk } FS \leq 1,$$

$$F = 0 \quad \text{untuk } FS > 1,$$

$$w(z) = 10 - 0,5 z$$

Dimana:

$w(z)$  = Fungsi bobot (*weighting*) yang bergantung pada kedalaman,

$z$  = Kedalaman lapisan tanah (m).

Untuk profil tanah kurang dari kedalaman 20 meter, LPI dapat dihitung menggunakan persamaan Luna and Frost (1998).

$$LPI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i \cdot H_i \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 F_i &= 1 - FS_i && \text{untuk } FS_i \leq 1, \\
 F_i &= 0 && \text{untuk } FS_i > 1, \\
 w_i &= 10 - 0,5 z_i
 \end{aligned}$$

Dimana:

- $H_i$  = Ketebalan lapisan tanah ke- $i$  (m),
- $n$  = Nomor lapisan tanah ke- $i$ ,
- $w_i$  = Fungsi bobot (*weighting*) yang bergantung pada kedalaman,
- $z_i$  = Kedalaman lapisan tanah ke- $i$  (m).

Menurut Iwasaki (1978) dan Luna and Frost (1998) klasifikasi LPI terhadap resiko potensi likuefaksi tertera pada Tabel 2. Dixit (2012) telah menggunakan kedua klasifikasi ini untuk menentukan potensi likuefaksi di kota mumbai.

**Tabel 2.** Potensi Likuefaksi Berdasarkan Nilai LPI.

LPI	Potensi Likuefaksi	
	Iwasaki et al. (1978)	Luna dan Frost (1998)
LPI = 0	Sangat Rendah	<i>Little to none</i>
$0 < LPI < 5$	Rendah	<i>Minor</i>
$5 \leq LPI \leq 15$	Tinggi	<i>Moderate</i>
LPI > 15	Sangat Tinggi	<i>Major</i>

### 2.4.5. Penurunan Tanah

Likuefaksi akan menjadi masalah serius ketika menyebabkan penurunan permukaan tanah selama guncangan gempa bumi. Penurunan permukaan tanah terjadi pada regangan yang relatif kecil (*small-strain*) setelah likuefaksi (*post liquefaction*). Zhang (2002) mengemukakan hubungan nilai tahanan ujung seismik dan regangan volumetrik untuk beragam faktor keamanan dari hasil analisis terhadap potensi likuefaksi. Nilai regangan volumetrik sebagai akibat disipasi tekanan air pori saat guncangan gempa akan digunakan untuk penghitungan penurunan permukaan tanah.

$$S = \int_0^z \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i \tag{12}$$

Dimana:

- $\varepsilon_{vi}$  = Regangan volumetrik pasca likuefaksi pada lapisan tanah ke- $i$ ,
- $\Delta z_i$  = Tebal lapisan tanah ke- $i$ .

Secara empirik, besarnya regangan vertikal seismik sebagai fungsi dari faktor aman dan nilai tahanan seperti yang tertera pada Tabel 3. Persamaan empirik regangan seismik selanjutnya dipakai untuk menentukan besar penurunan yang terjadi di setiap lapisan tanah jenuh air yang mengalami likuefaksi.

**Tabel 3.** Persamaan Empirik Regangan Seismik (Zhang, 2002)

Faktor Aman (FS)	Nilai Tahanan Ujung Seismik ( $(q_{c1N})_{cs}$ )	Regangan Seismik ( $\varepsilon_v$ )
$\leq 0.5$	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
0.6	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 147$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$

Faktor Aman (FS)	Nilai Tahanan Ujung Seismik $(q_{c1N})_{cs}$	Regangan Seismik $(\epsilon_v)$
0.7	$147 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$2411 (q_{c1N})_{cs}^{-1.45}$
	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 110$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
	$110 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1701 (q_{c1N})_{cs}^{-1.42}$
0.8	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 80$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
	$80 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1690 (q_{c1N})_{cs}^{-1.46}$
0.9	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 60$	$102 (q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$
	$60 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1430 (q_{c1N})_{cs}^{-1.48}$
1.0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$64 (q_{c1N})_{cs}^{-0.93}$
1.1	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$11 (q_{c1N})_{cs}^{-0.65}$
1.2	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$9.7 (q_{c1N})_{cs}^{-0.69}$
1.3	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$7.6 (q_{c1N})_{cs}^{-0.71}$
2.0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	0

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian analisis potensi likuefaksi menggunakan data investigasi geoteknik bawah permukaan berupa data CPT. Selain data tanah, data gempa wilayah juga dipakai sebagai energi pemicu likuefaksi. Data gempa wilayah yang dipakai adalah data kegempaan DIY. Data gempa bumi yang dipakai berupa magnitudo dan PGA yang terambatkan ke permukaan tanah ( $PGA_M$ ). Metode Boulanger and Idriss (2014) adalah salah satu cara untuk mengetahui ketahanan atau kekuatan lapisan tanah terhadap potensi likuefaksi. Penentuan potensi likuefaksi yaitu berdasarkan besarnya data CPTe dan kegempaan. Dari korelasi hubungan data CPTe dan gempa akan didapatkan parameter kekuatan tanah menahan likuefaksi akibat gempa (CRR), tegangan geser tanah akibat gempa (CSR), dan *Factor of Safety* (FS). Nilai FS yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan batasan sebesar  $FS > 1$  menunjukkan lapisan tanah tidak berpotensi terjadi likuefaksi, sedangkan nilai  $FS < 1$  menunjukkan lapisan tanah berpotensi likuefaksi.

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan pesisir pantai di Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi pengujian seperti terlihat pada Gambar 1.

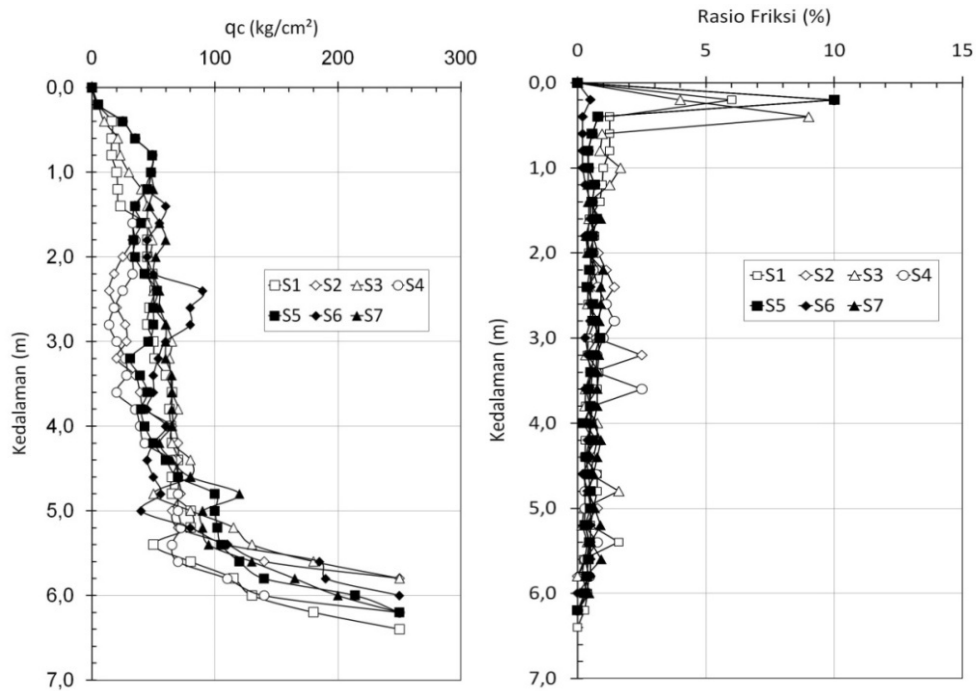


**Gambar 1.** Lokasi Pengujian CPTm dan *Boring* di Kawasan Pesisir Pantai Kabupaten Kulon Progo DIY.

### 3.2. Data Penelitian

#### 3.2.1. Data CPT

Data CPT yang digunakan pada analisis merupakan data sekunder dari *Survey Topografi & Soil Investigation* DPPU Kulon Progo yang dilakukan oleh PT. Surveyor Indonesia. Pengujian CPT menggunakan tipe CPTm dengan jumlah pengujian sebanyak tujuh titik. Data  $q_c$  dan  $R_f$  pengujian CPTm dapat terlihat pada Gambar 2.

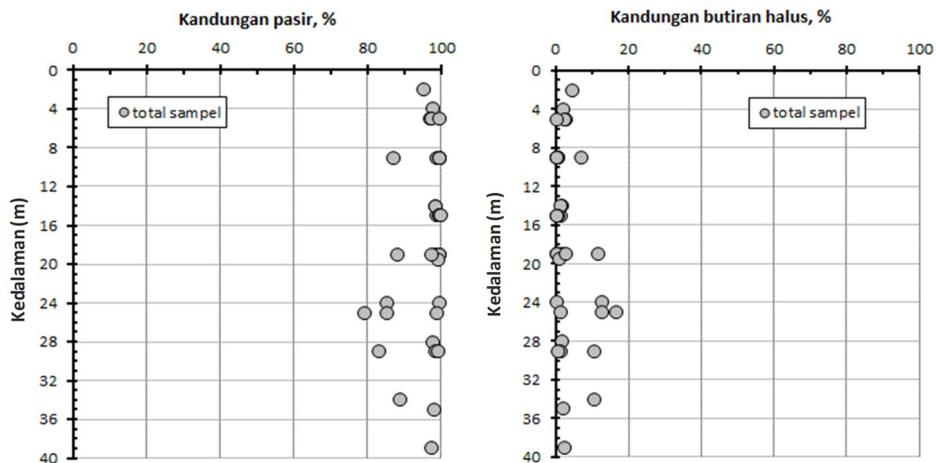


Gambar 2. Data  $q_c$  dan  $R_f$  Pengujian CPTm.

#### 3.2.2. Data Sifat Fisis Tanah

Uji *boring* telah dilakukan pada kawasan pesisir pantai di Kabupaten Kulon Progo DIY. Uji *boring* dilakukan pada satu titik dengan kedalaman lapisan 40 m. Sampel tanah hasil *boring* kemudian dilakukan uji laboratorium untuk mendapatkan data sifat fisis tanah. Lapisan tanah lebih dominan kandungan pasir, kandungan butiran halus, kandungan kerikil sangat sedikit, dan kondisi muka air tanah berada di kedalaman 3 meter.





Gambar 3. Persentase Kandungan Butiran Tanah Hasil Uji *Boring*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Analisis Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah di kawasan pesisir pantai Kabupaten Kulon Progo DIY ditentukan berdasarkan data CPTe yang dikorelasikan dengan parameter  $\bar{v}_s$  dan  $\bar{N}$ . Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelas Situs Tanah Berdasarkan Parameter  $\bar{v}_s$  dan  $\bar{N}$ .

Titik CPT	Kedalaman (m)	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$	Kelas Situs
S1	0 – 30	177,79	27	SD (Tanah Sedang)
S2	0 – 30	175,01	26	SD (Tanah Sedang)
S3	0 – 30	192,67	29	SD (Tanah Sedang)
S4	0 – 30	175,23	25	SD (Tanah Sedang)
S5	0 – 30	180,60	30	SD (Tanah Sedang)
S6	0 – 30	182,18	31	SD (Tanah Sedang)
S7	0 – 30	192,66	32	SD (Tanah Sedang)

##### 4.2. Analisis Nilai $PGA_M$

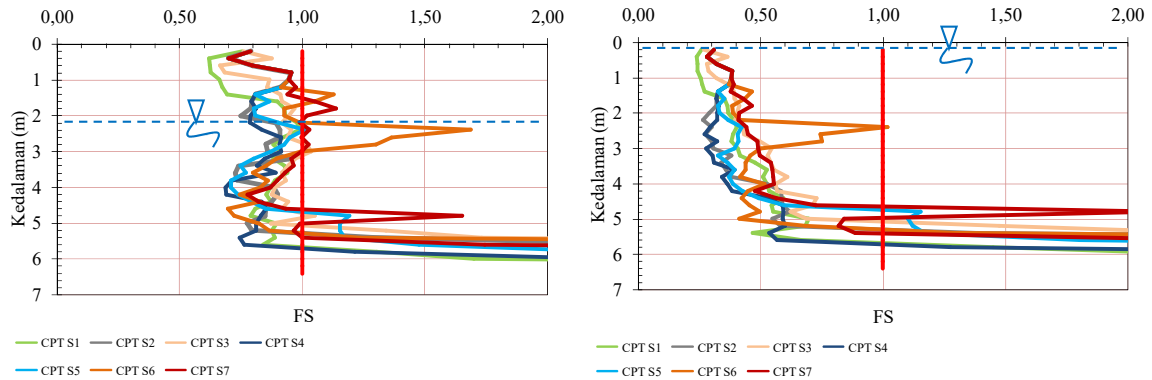
Nilai  $PGA_M$  merupakan nilai PGA yang telah terambatkan ke permukaan tanah. Nilai  $PGA_M$  yang ditinjau tertuju pada wilayah Kabupaten Kulon Progo DIY.

Tabel 5. Nilai  $PGA_M$  Daerah Istimewa Yogyakarta.

Sumber	PGA	$F_{PGA}$	$PGA_M$
Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017	0,4	1,0	0,4

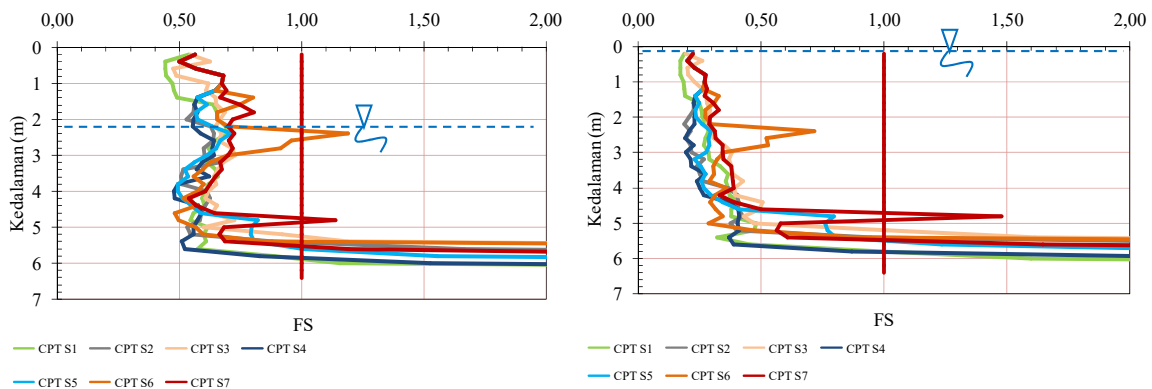
### 4.3. Analisis Nilai FS

Analisis FS dilakukan pada tanah kategori sedang dengan batasan sampai kedalaman 6,4 meter. Hasil analisis potensi likuefaksi menunjukkan lapisan tanah di kedalaman  $\geq 6$  meter sudah aman terhadap bahaya likuefaksi untuk setiap data CPTe. Khusus pada gempa skala magnitudo 5 Mw kondisi muka air tanah di kedalaman 3 meter, ada beberapa lapisan yang masih aman terhadap likuefaksi di rentang kedalaman 0 – 6,4 meter. Hasil analisis nilai FS untuk masing-masing data CPTe ditunjukkan pada Gambar 4 sampai Gambar 7.



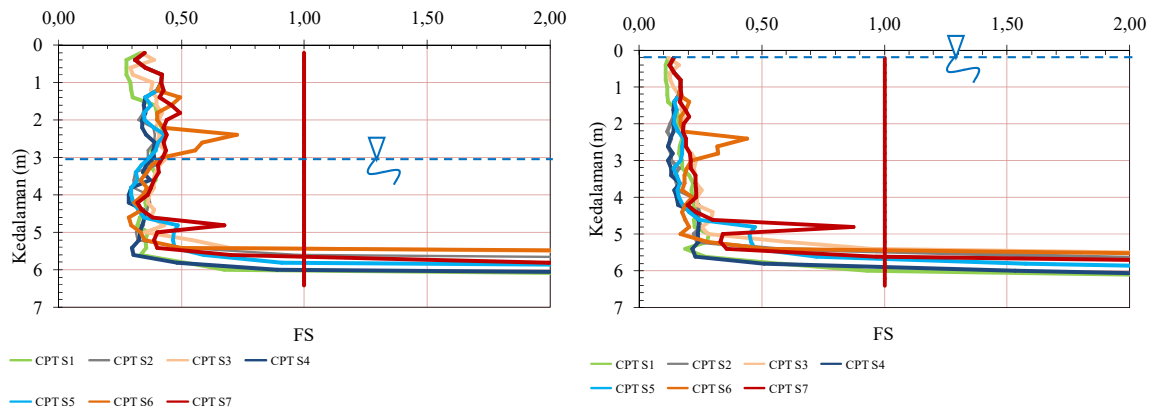
(a) Muka Air Tanah di Kedalaman 3 meter. (b) Muka Air Tanah di Permukaan.

**Gambar 4.** Hasil Analisis Nilai FS pada Magnitudo 5 Mw.



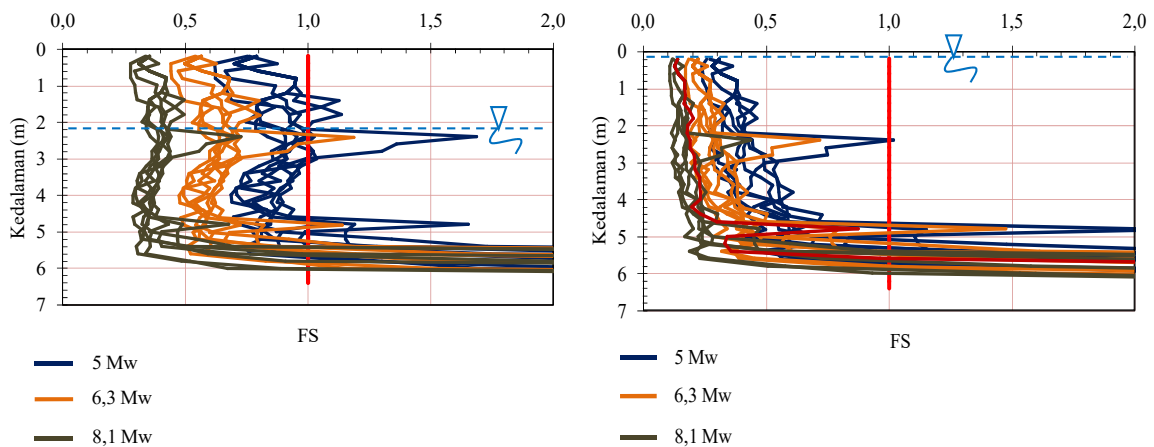
(a) Muka Air Tanah di Kedalaman 3 meter. (b) Muka Air Tanah di Permukaan.

**Gambar 5.** Hasil Analisis Nilai FS pada Magnitudo 6,3 Mw.



(a) Muka Air Tanah di Kedalaman 3 meter. (b) Muka Air Tanah di Permukaan.

**Gambar 6.** Hasil Analisis Nilai FS pada Magnitudo 8,1 Mw.



(a) Muka Air Tanah di Kedalaman 3 meter. (b) Muka Air Tanah di Permukaan.

**Gambar 7.** Perbandingan Hasil Analisis Nilai FS pada Variasi Magnitudo Gempa.

### 4.3.1. Analisis Indeks Potensi Likuefaksi (LPI)

LPI dianalisis berdasarkan nilai FS yang dimiliki setiap lapisan tanah. Jumlah kedalaman lapisan tanah pasir < 20 meter. Luna and Frost (1998) digunakan sebagai penentuan potensi likuefaksi.

**Tabel 6.** Potensi Likuefaksi pada Kondisi Muka Air Tanah di Kedalaman 3 Meter.

Data CPT e	Magnitudo Gempa					
	5 Mw		6,3 Mw		8,1 Mw	
	LPI	Potensi	LPI	Potensi	LPI	Potensi
S1	8,18	Tinggi	20,20	Sangat Tinggi	32,12	Sangat Tinggi
S2	7,45	Tinggi	18,77	Sangat Tinggi	29,65	Sangat Tinggi
S3	4,53	Rendah	16,11	Sangat Tinggi	27,86	Sangat Tinggi

Data CPTe	Magnitudo Gempa					
	5 Mw		6,3 Mw		8,1 Mw	
	LPI	Potensi	LPI	Potensi	LPI	Potensi
S4	8,64	Tinggi	20,58	Sangat Tinggi	32,02	Sangat Tinggi
S5	6,77	Tinggi	17,89	Sangat Tinggi	29,81	Sangat Tinggi
S6	5,38	Tinggi	15,80	Sangat Tinggi	27,59	Sangat Tinggi
S7	3,25	Rendah	15,32	Sangat Tinggi	27,83	Sangat Tinggi

**Tabel 7.** Potensi Likuefaksi pada Kondisi Muka Air Tanah di Permukaan.

Data CPTe	Magnitudo Gempa					
	5 Mw		6,3 Mw		8,1 Mw	
	LPI	Potensi	LPI	Potensi	LPI	Potensi
S1	27,91	Sangat Tinggi	33,94	Sangat Tinggi	40,14	Sangat Tinggi
S2	27,61	Sangat Tinggi	32,88	Sangat Tinggi	38,24	Sangat Tinggi
S3	23,25	Sangat Tinggi	29,30	Sangat Tinggi	35,55	Sangat Tinggi
S4	29,55	Sangat Tinggi	35,23	Sangat Tinggi	40,81	Sangat Tinggi
S5	25,23	Sangat Tinggi	31,05	Sangat Tinggi	37,54	Sangat Tinggi
S6	23,87	Sangat Tinggi	30,30	Sangat Tinggi	36,66	Sangat Tinggi
S7	22,96	Sangat Tinggi	29,54	Sangat Tinggi	35,84	Sangat Tinggi

Hasil analisis LPI (Tabel 6 & 7) menunjukkan bahwa kawasan pesisir pantai di Kabupaten Kulon Progo DIY berpotensi sangat tinggi mengalami likuefaksi pada gempa dengan skala magnitudo  $\geq 6,3$  Mw. Likuefaksi berpotensi terjadi pada kedalaman lapisan 0 – 6 meter. Maka dari itu, perlu perbaikan tanah untukantisipasi bahaya likuefaksi di kawasan tersebut. Untuk bangunan gedung, pembangunan konstruksi fondasi disarankan mempunyai kedalaman melebihi 6 meter.

#### 4.3.2. Analisis Penurunan Tanah

Analisis penurunan tanah akibat likuefaksi menggunakan metode Zhang (2002). Penurunan tanah dianalisis menggunakan besaran nilai regangan seismik ( $\epsilon_v$ ) yang dikorelasikan dari nilai FS.

**Tabel 8.** Penurunan Tanah pada Variasi Magnitudo dan Muka Air Tanah.

Data CPTe	Penurunan Tanah (cm)					
	m.a.t di Kedalaman 3 Meter			m.a.t di Permukaan		
	5 Mw	6,3 Mw	8,1 Mw	5 Mw	6,3 Mw	8,1 Mw
S1	5,8	7,6	8,0	18,8	19,0	19,3
S2	6,2	7,2	7,5	18,0	18,2	18,4
S3	3,4	5,8	6,2	14,4	14,6	14,9

Data CPTe	Penurunan Tanah (cm)					
	m.a.t di Kedalaman 3 Meter			m.a.t di Permukaan		
	5 Mw	6,3 Mw	8,1 Mw	5 Mw	6,3 Mw	8,1 Mw
S4	7,9	8,6	8,9	19,4	19,5	19,7
S5	6,1	7,3	8,0	14,9	15,6	16,2
S6	6,1	7,2	7,3	14,0	14,4	14,6
S7	3,7	6,2	6,7	12,9	13,3	13,6

Berdasarkan taksiran nilai penurunan tanah yang terjadi, direkomendasikan;

1. Untuk fondasi tiang, tahanan friksi pada lapisan tanah 0 – 6 meter harus diabaikan dalam desainnya.
2. Penggunaan fondasi dangkal tidak direkomendasikan pada kawasan pesisir pantai Kabupaten Kulon Progo DIY, kecuali dilakukan metode perbaikan tanah untuk menghilangkan potensi likuefaksi.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan pada potensi likuefaksi berdasarkan data CPT di Kabupaten Kulon Progo DIY adalah sebagai berikut:

- Lapisan tanah di kedalaman lapisan 0 – 6 meter berada pada kategori tidak aman terhadap potensi bahaya likuefaksi. Untukantisipasi bahaya likuefaksi pada bangunan gedung, pembangunan konstruksi fondasi disarankan memiliki kedalaman melebihi 6 meter.
- Kawasan pesisir pantai di Kabupaten Kulon Progo DIY berpotensi sangat tinggi mengalami likuefaksi pada gempa dengan skala magnitudo  $\geq 6,3$  Mw.
- Penurunan maksimum ditaksir mencapai 19,7 cm terjadi pada magnitudo 8,1 Mw dengan kondisi muka air tanah di permukaan. Penggunaan fondasi dangkal di kedalaman lapisan tanah 0 – 6 meter tidak direkomendasikan, kecuali dilakukan metode perbaikan tanah untuk menghilangkan potensi likuefaksi.

Analisis likuefaksi terbatas pada kawasan pesisir pantai di Kabupaten Kulon Progo DIY. Saran berupa gagasan supaya analisis likuefaksi diterapkan di seluruh wilayah Indonesia. Hal ini akan sangat berguna sebagai ilmu pengetahuan di bidang geoteknik mengenai daerah yang bahaya terhadap potensi likuefaksi, sehingga dapat diperhitungkan untuk desain pondasi yang aman terhadap penurunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. M. (2017). Correlating The Shear Wave Velocity With The Cone Penetration Test. doi:https://doi.org/10.11159/icgre17.155
- Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2014). CPT And SPT Based Liquefaction Triggering Procedures.
- Dixit, J. e. a. (2012). Assessment Of Liquefaction Potential Index For Mumbai City. 2759–2768. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-12-2759-2012
- Iwasaki, e. a. (1978). A Practical Method For Assessing Soil Liquefaction Potential Based On Case Studies At Various Sites In Japan. *Proc., 2nd Int. Conf. on Microzonation, San Francisco*, 885–896.
- Luna, R., & Frost, J. D. (1998). Spatial Liquefaction Analysis System. *J. Comput. Civil Eng*, 12, 48-56.
- Meisina, C. e. a. (2017). Differences Between Mechanical And Electrical Cone Penetration Test In The Liquefaction Hazard Assessment And Soil Profile Reconstruction.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration Test And Bearing Capacity Of Cohesionless Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, 82(1), 1-19.
- Nasional, B. S. (2008). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan.

- Nasional, B. S. (2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2010). Estimating Soil Unit Weight From CPT.
- Wair, e. a. (2012). Guidelines For Estimation Of Shear Wave Velocity Profiles. *Pacific Earthq. Eng, 8*, 68.
- Zhang, e. a. (2002). Estimating Liquefaction-induced Ground Settlements From CPT For Level Ground. 1168-1180. doi:<https://doi.org/10.1139/T02-047>