



## Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Data *Cone Penetration Test* (CPT)

\*Deo Pratama Prayitno, Hanindya Kusuma Artati

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

\*[deopratama57@yahoo.co.id](mailto:deopratama57@yahoo.co.id)

Received: 26 Juli 2021 Revised: 15 Desember 2021 Accepted: 24 Desember 2021

### Abstract

*Liquefaction is a failure phenomenon in the soil layer which generally occurs due to cyclic loads from earthquakes. This study was conducted to determine the potential for liquefaction based on soil grain size distribution and CPT data in the UII Hospital area in Wijirejo Village, Bantul, DIY. Based on its geographical location, the Bantul district has a high earthquake potential because it is near an opak fault and is located in a subduction zone between the Indo-Australian Plate and the Eurasian plate. Along with this, there is urgency for this research. Analysis based on the grain size distribution of the soil was evaluated using the Tsuchida curve (1970). Analysis based on CPT data was evaluated using the Seed & Idriss (1971) and IM Idriss & RW Boulanger (2008) equations to obtain a soil layer safety value, which was then used to predict the level of potential liquefaction with the LPI value using the Luna & Frost (1998) equation. Based on the grain size distribution using the Tsuchida curve (1970) in Wijirejo Village, the soil layer at a depth of 1 meter is dominated by sandy soil and silt, which has liquefaction potential. Based on CPT data, all sondir points have a very high liquefaction potential with consecutive LPI values 48,405; 52,160; 57,498; and 46,942 with a potential liquefaction zone depth of 0.20 to 13.20 meters from the ground level.*

**Keywords:** RS UII, liquefaction, grain size distribution, CPT data, LPI

### Abstrak

*Likuifaksi merupakan fenomena kegagalan pada lapisan tanah yang umumnya terjadi akibat beban siklik akibat gempa bumi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data CPT di kawasan Rumah Sakit UII Desa Wijirejo, Bantul, DIY. Berdasarkan letak geografisnya, Kabupaten Bantul memiliki potensi gempa yang tinggi dikarenakan berada di dekat sesar opak serta berada di zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Seiring dengan hal tersebut maka ada urgensi untuk penelitian ini. Analisis berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dievaluasi menggunakan kurva Tsuchida (1970). Analisis berdasarkan data CPT dievaluasi menggunakan persamaan Seed & Idriss (1971) dan IM Idriss & RW Boulanger (2008) untuk mendapatkan nilai keamanan lapisan tanah, yang kemudian digunakan untuk memprediksi tingkat potensi likuifaksi dengan nilai LPI menggunakan persamaan Luna & Frost (1998). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan Rumah Sakit UII memiliki potensi likuifaksi yang sangat tinggi. Berdasarkan distribusi ukuran butir menggunakan kurva Tsuchida (1970) di Desa Wijirejo, lapisan tanah pada kedalaman 1 meter didominasi oleh tanah berpasir dan lanau yang berpotensi likuifaksi. Berdasarkan data CPT, seluruh titik sondir memiliki potensi likuifaksi yang sangat tinggi dengan nilai LPI berturut-turut sebesar 48.405; 52.160; 57.498; dan 46.942 dengan kedalaman zona potensi likuifaksi 0,20 sampai 13,20 meter dari permukaan tanah.*

**Kata kunci:** RS UII, liquefaction, grain size distribution, CPT data, LPI

### Pendahuluan

Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia (RS UII) terletak di Desa Wijirejo, Kecamatan Pandak, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Berdasarkan letak geografisnya kabupaten Bantul terletak di dekat daerah zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, serta berada dekat dengan sesar opak. Seiring dengan pergerakan lempeng yang terus terjadi,

maka pertemuan lempeng dengan sesar aktif tersebut dapat terjadi sehingga berpotensi untuk menimbulkan peristiwa gempa bumi. Gempa bumi merupakan peristiwa berbahaya yang menimbulkan gelombang seismik sehingga dapat merusak struktur tanah. Berikut merupakan peta kawasan rawan bencana gempa bumi yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1. Peta kawasan rawan bencana gempa bumi**

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa RS UII berada di kawasan rawan bencana gempa bumi tinggi. Gempa bumi dengan intensitas tinggi umumnya dapat menimbulkan peristiwa baru seperti likuifaksi. Likuifaksi merupakan peristiwa kegagalan dan kehilangan kekuatan pada tanah yang umumnya terjadi pada tanah jenis pasir. Pasir merupakan jenis tanah non kohesif yang berpermeabilitas tinggi sehingga saat terjadi guncangan gempa, air yang berada di dalam lapisan tanah dengan mudah merambat keluar dan tertekan untuk naik ke lapisan permukaan atas tanah. Peristiwa tersebut mengakibatkan perubahan wujud tanah yang semula padat menjadi cair atau pencairan sehingga umumnya disebut likuifaksi.

Beberapa penelitian mengenai potensi likuifaksi telah dilakukan diantaranya Hakam & Darjanto (2013) mengenai penelusuran potensi likuifaksi di pantai Padang, penelusuran dilakukan berdasarkan gradasi butiran yang dianalisis menggunakan kurva butiran terlikuifaksi dengan kesimpulan bahwa umumnya tanah yang terlikuifaksi memiliki kandungan pasir halus lebih dari 60% serta kandungan tanah lolos saringan nomor 200 tidak lebih dari 20% dan  $D_{50}$  kisaran 0,15 mm hingga 0,35 mm. Penelusuran berikutnya dilakukan berdasarkan tahanan penetrasi standar yang dianalisis menggunakan metode Seed & Idriss (1971) dengan membandingkan tegangan yang terjadi pada lapisan tanah beserta tahanannya menggunakan kurva rasio tegangan – tahanan penetrasi. Hasil penelitian diperoleh bahwa potensi likuifaksi umumnya terjadi pada lapisan tanah pasir pada kedalaman 4 m hingga 12 m. Evaluasi terhadap potensi likuifaksi lainnya dilakukan oleh Chakraborty *et al.* (2018) mengenai pengaruh

ukuran butir tanah terhadap kekuatan likuifaksi pada tanah pasir. Penelitian dilakukan menggunakan pengujian triaksial siklik *consolidated undrained* (CU) untuk mengetahui jumlah siklus yang dimiliki pada setiap benda uji untuk likuifaksi, dengan benda uji berupa pasir asli yang disaring menjadi pasir halus (0,45–0,075 mm) dan pasir sedang (2 – 0,425 mm) yang di kumpulkan dari IIT Patna Bihtacampus. Hasil penelitian diperoleh bahwa pasir halus lebih rentan terhadap likuifaksi dari pasir sedang dan pasir alami dikarenakan dapat terjadi likuifaksi dengan jumlah siklus yang lebih sedikit.

Sabri (2020) melakukan analisis likuifaksi kota Padang berdasarkan data *cone penetration test* (CPT) dengan menggunakan metode Idriss & Boulanger dengan menganalisis *earthquake-induced cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR) yang bergantung pada *magnitude scale factor* (MSF). Penelitian ini juga memperhitungkan *settlement* berdasarkan teori Yoshimine (1992) dan Zhang *et al* (2002) serta memperhitungkan nilai LPI dengan metode Iwasaki *et al.* (1986). Hasil penelitian diperoleh bahwa kota Padang sangat rentan terhadap likuifaksi dengan mayoritas tanah alluvium serta rata-rata penurunan yang terjadi dari 20 cm hingga 60 cm dan memiliki kategori sangat tinggi untuk terjadinya likuifaksi dikarenakan memiliki nilai LPI rata-rata di atas 30 dengan persentase likuifaksi sebesar 99%.

Menurut Hatmoko & Suryadharna (2015) dari eksplorasi tanah pada empat lokasi di Kabupaten Bantul menunjukkan bahwa kawasan tersebut mengandung endapan pasir yang memiliki kohesi rendah dan sudut gesek tinggi dari permukaan tanah hingga kedalaman 30 meter. Kemudian, telah disimpulkan bahwa endapan pasir tersebar luas di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sehingga ketika pada kondisi jenuh endapan pasir tersebut berpotensi terhadap likuifaksi.

Berdasarkan hal tersebut timbulah urgensi terhadap penelitian ini yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi yang mungkin terjadi di kawasan RS UII yang berada di kabupaten Bantul dengan tingkat potensi terhadap gempa bumi yang tinggi dan karakteristik tanah berupa pasir. Evaluasi pada penelitian ini dilakukan berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data CPT.

## Metode

Penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan yaitu (1) Pengumpulan data, (2) Analisis potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah, (3) Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data

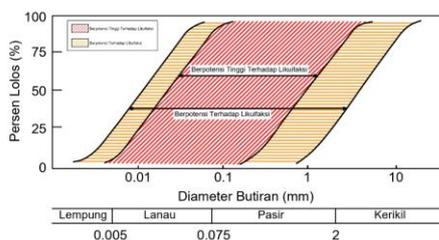
CPT dan (4) Penulisan serta penarikan kesimpulan dengan membandingkan teori yang digunakan.

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa grafik distribusi ukuran butir tanah yang merupakan hasil pengujian analisis saringan dan analisis hidrometer di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah yang diambil di Kawasan Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia di Desa Wijirejo, Kecamatan Pandak, Bantul, DIY. Data sekunder pada penelitian ini berupa data CPT yang diperoleh dari data konstruksi Gedung Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.

### Potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah

Menurut Pawirodikromo (2012) likuifaksi akan mudah terjadi pada tanah pasir-lanau. Berdasarkan pendapat dan pengujian terdahulu, ada kriteria yang mengakibatkan suatu tanah berpotensi terhadap likuifaksi (Youd & Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea *et al*, 1999 dalam Prakash & Puri, 2003) dalam Pawirodikromo (2012) yaitu; (1) diameter tengah  $D_{50}$  antara 0,02 -1,0 mm, (2) kandungan *finer*, butir  $D < 0,005$  mm tidak lebih dari 20%, (3) koefisien keseragaman  $D_{60}/D_{10} < 10$ , (4) kepadatan relatif  $D_r < 75\%$ , dan (5) Indeks plastisitas  $IP < 13\%$ .

Tsuchida (1970) melakukan penyelidikan terhadap kurva gradasi terkait dengan tanah yang perilakunya telah diamati selama beberapa kali sebelum gempa di Jepang dan yang menunjukkan respon serupa di laboratorium. Kurva distribusi ukuran butiran tanah yang dapat membedakan tanah yang memiliki potensi terhadap likuifaksi dan tidak berpotensi terhadap likuifaksi untuk tanah dengan koefisien keseragaman yang besar ( $C_u > 3.5$ ) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gradasi tanah yang berpotensi likuifaksi

### Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT

Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT dianalisis melalui beberapa tahapan yaitu (1) menentukan *soil behaviour type* (SBT), (2) mengkorelasi antara data CPT dengan berat volume tanah, (3) mengkorelasi antara data CPT dengan kecepatan gelombang

geser, (4) menentukan nilai CSR dan CRR, (5) menentukan nilai Faktor Keamanan (FS) dan (6) menentukan nilai *liquefaction potential index* (LPI).

### Soil Behaviour Type.

Robertson & Cabal (2015) menyatakan bahwa CPT data memberikan indeks berulang dari perilaku agregat pada tanah asli disekitar area penyelidikan, sehingga prediksi jenis tanah berdasarkan data CPT disebut sebagai SBT yang dapat ditentukan berdasarkan kriteria pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria SBT

Zone	SBT	Ic
1	<i>Sensitive, fine grained</i>	N/A
2	<i>Organic soils – clay</i>	$> 3,6$
3	<i>Clays – silty clay to clay</i>	2,95 – 3,6
4	<i>Silt mixtures – clayey silt to silty clay</i>	2,60 – 2,95
5	<i>Sand mixtures – silty sand to sandy silt</i>	2,05 – 2,6
6	<i>Sands – clean sand to silty sand</i>	1,31– 2,05
7	<i>Gravelly sand to dense sand</i>	$< 1,31$
8	<i>Very stiff sand to clayey sand*</i>	N/A
9	<i>Very stiff, fine grained*</i>	N/A

Korelasi data CPT dengan berat volume tanah.

Robertson dan Cabal (2010) mengatakan bahwa untuk menentukan berat volume tanah dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan persamaan yang telah disederhanakan, yang dapat dilihat pada Persamaan 1.

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

dimana  $R_f$  = perbandingan gesekan ( $f_s/q_t$ )100%,  $\gamma_w$  = berat volume air ( $\text{kN/m}^3$ ),  $\gamma$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ ),  $p_a$  = tekanan atmosfer (1 atm),  $q_t$  = perlawanan ujung konus ( $\text{kg/cm}^2$ ).

Korelasi data CPT dengan kecepatan gelombang geser.

Kecepatan gelombang geser merupakan suatu nilai yang dijadikan sebagai parameter penentu kelas situs dari sebuah lapisan tanah. Robertson (2009) mengatakan bahwa kecepatan gelombang geser ditentukan menggunakan Persamaan 2 dan 3.

$$V_s = [\alpha_{vs}(q_t - \sigma_v)/p_a]^{0,5} \quad (2)$$

dimana:

$$\alpha_{vs} = 10^{(0,551c+1,68)} \quad (3)$$

dengan  $V_s$  = kecepatan gelombang geser,  $\alpha_{vs}$  = faktor konus kecepatan gelombang geser,  $q_t$  =

perlawanan ujung konus,  $\sigma_v$  = tegangan total,  $P_a$  = tekanan atmosfer.

### Nilai CSR dan CRR

Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT secara umum dilakukan dengan menganalisis nilai CSR dan CRR sehingga didapat nilai FS suatu lapisan tanah yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan tingkat potensi likuifaksi dengan menentukan nilai LPI. CSR merupakan nilai tegangan geser yang umumnya diakibatkan oleh beban siklik dari guncangan gempa bumi. Seed & Idriss (1971) telah memformulasikan persamaan untuk perhitungan CSR yang dapat dilihat pada Persamaan 4 dan 5.

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma'_{vo}) \quad (4)$$

$$CSR = 0,65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) \cdot r_d \quad (5)$$

dengan  $a_{max}$  = percepatan puncak horizontal berdasarkan gempa bumi,  $\sigma_{vo}$  = tegangan vertikal *overburden* total,  $\sigma'_{vo}$  = tegangan vertikal *overburden* efektif,  $g$  = percepatan gravitasi,  $r_d$  = koefisien tegangan reduksi,  $\tau_{av}$  = tegangan geser rata-rata, 0,65 merupakan faktor asumsi tegangan geser seragam ekuivalen sebesar 65% dari tegangan geser maksimum absolut gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2012, evaluasi likuifaksi menggunakan percepatan tanah puncak  $MCE_G$  pada percepatan tanah puncak (PGA) yang telah disesuaikan terhadap pengaruh situs ( $PGA_M$ ).  $PGA_M$  dinyatakan dalam Persamaan 6.

$$PGA_M = F_{PGA}PGA \quad (6)$$

dengan  $PGA_M$  =  $MCE_G$  percepatan tanah puncak yang telah disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs,  $PGA$  = percepatan tanah puncak terpetakan,  $F_{PGA}$  = koefisien situs.

Liao & Whitman (1986) telah mengestimasi nilai rata-rata untuk koefisien tegangan reduksi ( $r_d$ ) yang dapat dilihat pada Persamaan 7 dan 8 berikut.

$$r_d = 1,0 - 0,00765z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (7)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \text{ untuk } 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \quad (8)$$

dengan  $z$  = kedalaman lapisan tanah

CRR merupakan nilai tahanan suatu lapisan tanah terhadap likuifaksi yang dapat dihitung berdasarkan langkah-langkah berikut, pertama menghitung nilai tahanan ujung terkoreksi ( $q_{cIN}$ ). Youd et al (2001) menyatakan bahwa prosedur CPT membutuhkan normalisasi tahanan ujung dengan menggunakan Persamaan 9 dan 10.

$$q_{cIN} = C_q (q_c/P_a) \quad (9)$$

dimana:

$$C_q = (P_a/\sigma'_{vo})^n \quad (10)$$

dengan  $C_q$  = faktor normalisasi tahanan ujung konus,  $P_a$  = tekanan atmosfer,  $n$  = eksponen yang bervariasi berdasarkan jenis tanah (berkisar antara 0,5 (*clean sands*) hingga 1,0 (*clayey soil types*)).

Langkah kedua adalah menghitung nilai indeks perilaku tanah ( $I_c$ ). Robertson & Wride (1998) menghitung nilai  $I_c$  menggunakan Persamaan 11 sampai dengan 13.

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5} \quad (11)$$

dimana:

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_a][(P_a/\sigma'_{vo})^n] \quad (12)$$

$$F = [fs/(q_c - \sigma_{vo})] \times 100 \% \quad (13)$$

dengan  $Q$  = tahanan ujung konus tak berdimensi, dan  $F$  = rasio gesekan ternormalisir.

Langkah ketiga adalah menghitung nilai ekuivalensi pasir bersih ( $q_{cIN}_{cs}$ ). Youd et al (2001) menyatakan bahwa resistensi penetrasi yang dinormalisasi ( $q_{cIN}$ ) untuk pasir berlumpur dikoreksi menjadi nilai pasir bersih yang setara ( $q_{cIN}_{cs}$ ), dihitung menggunakan Persamaan 14.

$$(q_{cIN})_{cs} = K_c q_{cIN} \quad (14)$$

Robertson & Wride (1998) menyatakan  $K_c$  merupakan faktor koreksi untuk karakteristik butiran yang ditentukan dengan Persamaan 15 dan 16.

$$I_c \leq 1,64, K_c = 1,0 \quad (15)$$

$$I_c \geq 1,64, K_c = -0,403I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,631I_c^2 + 33,751I_c - 17,88 \quad (16)$$

Langkah keempat menentukan nilai CRR. Idriss & Boulanger (2008) telah membuat persamaan untuk menentukan nilai CRR yang dapat dilihat pada Persamaan 17.

$$\begin{aligned} \text{Jika, } (q_{cIN})_{cs} < 211 \text{ maka} \\ CRR_{7,5} &= \exp\left[\left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{540}\right) + \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{67}\right)^2 - \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{80}\right)^3 + \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{114}\right)^4 - 3\right] \end{aligned} \quad (17)$$

Jika,  $(q_{cIN})_{cs} > 211$ , maka  $CRR_{7,5} = 2$

### Nilai FS

Nilai FS merupakan nilai hasil perbandingan antara nilai tegangan geser akibat beban siklik dengan nilai tahanan lapisan tanah, sehingga diperoleh prediksi keamanan suatu lapisan tanah yang dilihat pada Persamaan 18.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (18)$$

dengan  $FS < 1$  (berpotensi likuifaksi),  $FS = 1$  (kondisi kritis), dan  $FS > 1$  (tidak berpotensi likuifaksi)

### Nilai LPI

Nilai LPI merupakan suatu nilai yang diperoleh guna memprediksi tingkat potensi likuifaksi yang terjadi pada suatu kawasan. Perhitungan nilai LPI untuk lapisan tanah dengan kedalaman kurang dari 20 meter dapat diperhitungkan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Luna & Frost (1998) pada Persamaan 19.

$$LPI = \sum_{i=1}^n w_i f_i H_i \quad (19)$$

dengan  $w_i = (10 - 0,5)$  untuk  $z < 20$  m dan 0 untuk  $z > 20$  m,  $F_i = 1 - F_{Si}$  untuk  $F_{Si} < 1,0$ ,  $F_i = 0$  untuk  $F_{Si} \geq 1,0$  dan  $H =$  tebal lapisan.

Tabel 2. Kategori nilai LPI

No	Nilai LPI	Tingkat potensi likuifaksi
1	LPI = 0	Sangat rendah
2	$0 < LPI < 5$	Rendah
3	$0 < LPI < 15$	Tinggi
4	$LPI > 15$	Sangat tinggi

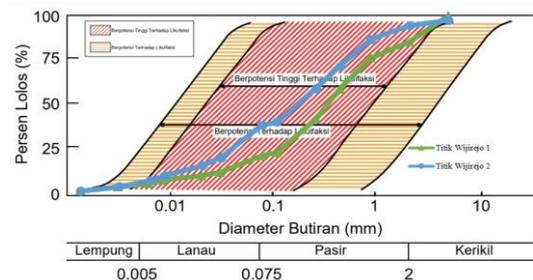
Dengan menggunakan persamaan di atas maka dapat ditentukan tingkat potensi likuifaksi yang telah dikategorikan berdasarkan nilai LPI yang dikemukakan oleh Iwasaki *et al.* (1981) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

## Hasil dan Pembahasan

### Potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah

Potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah ditentukan dengan melakukan pengujian berupa analisis saringan dan analisis hidrometer di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah yang diambil pada dua titik di kawasan RS UII di Desa Wijirejo, Kecamatan Pandak, Bantul, DIY dengan titik pertama terletak di Lintang  $7^{\circ}54'34,8''S$  dan Bujur  $110^{\circ}17'42,0''E$ , dan titik kedua di Lintang  $7^{\circ}54'35,6''S$  dan Bujur  $110^{\circ}17'43,5''E$ . Hasil penelitian yang dianalisis menurut Youd & Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea *et al.*, 1999 dalam Prakash & Puri, 2003 yang kemudian

diplotkan ke dalam kurva Tsuchida (1970) yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3. Berdasarkan grafik distribusi butiran yang telah diplotkan ke dalam kurva Tsuchida (1970) maka diperoleh hasil bahwa tanah sampel Titik Wijirejo 1 dan 2 dari Desa Wijirejo, Kecamatan Pandak, Bantul, DIY dominan mengandung pasir-lanau, serta memiliki ukuran butiran yang berada di dalam batasan zona berpotensi likuifaksi. Kriteria butiran Titik Wijirejo 1 memiliki nilai  $D_{50}$  sebesar 0,314 dan  $D < 0,005$  mm sebesar 7,347%. Pada Titik Wijirejo 2 memiliki nilai  $D_{50}$  sebesar 0,159 dan  $D < 0,005$  mm sebesar 9,066% sehingga sampel tanah Titik Wijirejo 1 dan Titik Wijirejo 2 berpotensi terhadap likuifaksi.



Gambar 3. Kurva potensi likuifaksi berdasarkan ukuran butir tanah

### Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT

Analisis potensi likuifaksi dilakukan setiap kedalaman 0,2 meter pada setiap lapisan tanah mencakup empat titik sondir. Data yang digunakan berupa data hasil pengujian CPT yang dibaca setiap interval 0,2 meter hingga mencapai kedalaman 13,6 meter. Berdasarkan data penyelidikan tanah, muka air tanah di keempat titik sondir tersebut ada di kedalaman 1,5 meter dari permukaan tanah. Analisis potensi likuifaksi dilakukan dengan menganalisis nilai CSR yang merupakan nilai tegangan geser yang diakibatkan oleh beban siklik seperti gempa bumi, berdasarkan persamaan Seed & Idriss (1971) nilai CSR dipengaruhi oleh percepatan puncak horizontal, tegangan total, tegangan efektif, percepatan gravitasi, dan koefisien tegangan reduksi. Selanjutnya, menganalisis nilai CRR yang merupakan nilai tahanan lapisan tanah terhadap beban siklik yang menyebabkan likuifaksi. Besaran nilai CRR sangat dipengaruhi oleh nilai hasil pengujian CPT yaitu berupa nilai perlawanan ujung konus ( $q_c$ ) dan perlawanan geser ( $f_s$ ).

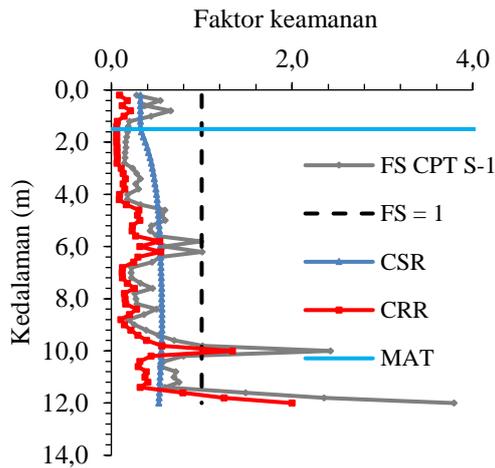
Tabel 3. Hasil analisis potensi likuifaksi menurut Youd & Gilstrap, 1999 dalam Day 2002; Perlea *et al.*, 1999 dalam Prakash dan Puri, 2003

Titik	Uraian	Ketentuan	Uraian	Ketentuan
	$D_{50}$ (mm)	$0,02 < D_{50} < 1$	$D < 0,005$ (%)	$D < 0,005$ tidak lebih dari 20%
Wijirejo 1	0,314	Likuifaksi	7,347	Likuifaksi
Wijirejo 2	0,159	Likuifaksi	9,066	Likuifaksi

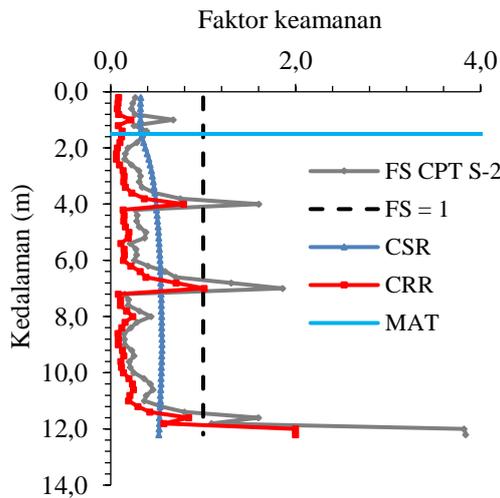
Berdasarkan nilai CSR dan CRR yang didapatkan maka dapat ditentukan jika, suatu tegangan geser (CSR) yang terjadi lebih besar dari tahanan lapisan tanah (CRR) maka menghasilkan nilai FS < 1, sehingga lapisan tanah berpotensi terhadap likuifaksi. Jika CSR yang terjadi lebih kecil dari CRR maka nilai FS > 1, sehingga lapisan tanah tidak berpotensi terhadap likuifaksi.

Adapun hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan data CPT dengan menganalisis nilai CSR dan CRR keempat titik tersebut yaitu CPT titik S-1, S-2, S-3 dan S-4 yang dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan 7.

S-3 terjadi pada kedalaman 0,20 m hingga 13,2 m. Sedangkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi pada titik S-4 terjadi pada kedalaman 0,2 m hingga 11,2 m.

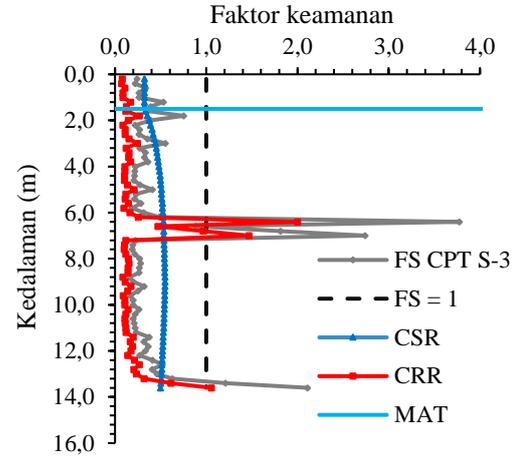


**Gambar 4. Potensi likuifaksi titik 1**

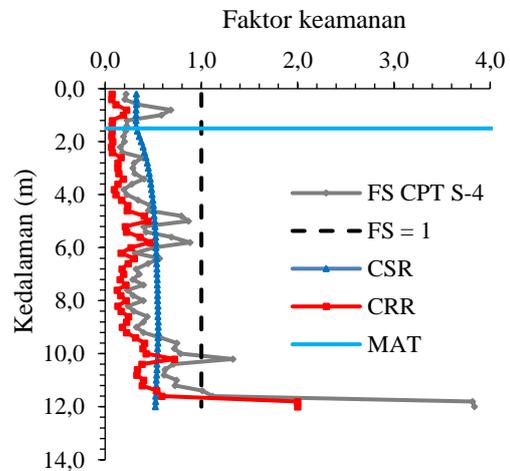


**Gambar 5. Potensi likuifaksi titik 2**

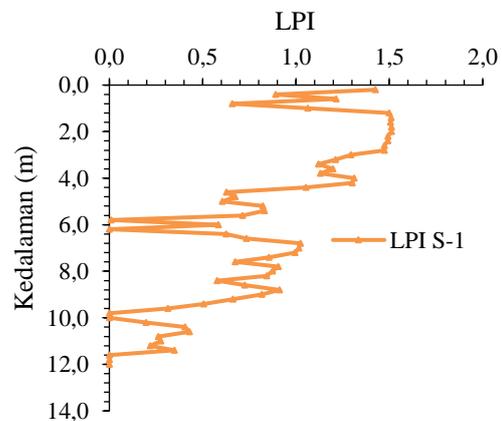
Tampak pada Gambar 4 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi pada titik S-1 terjadi pada kedalaman 0,20 m hingga 11,40 m, dan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi pada titik S-2 terjadi pada kedalaman 0,2 m hingga 11,4 m. Pada gambar lain, yaitu pada Gambar 6 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi pada titik



**Gambar 6. Potensi likuifaksi titik 3**



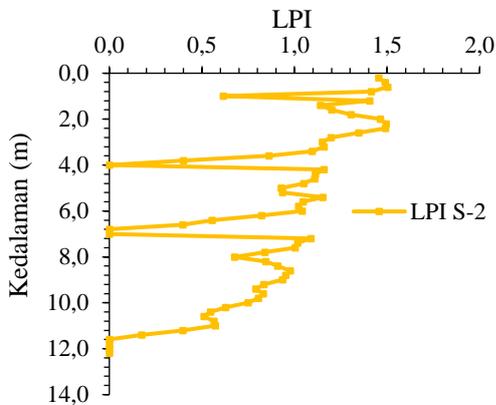
**Gambar 7. Potensi likuifaksi titik 4**



**Gambar 8. Nilai LPI titik 1**

Dari Gambar 4 sampai dengan 7 dapat ditarik kesimpulan bahwa potensi likuifaksi terjadi pada

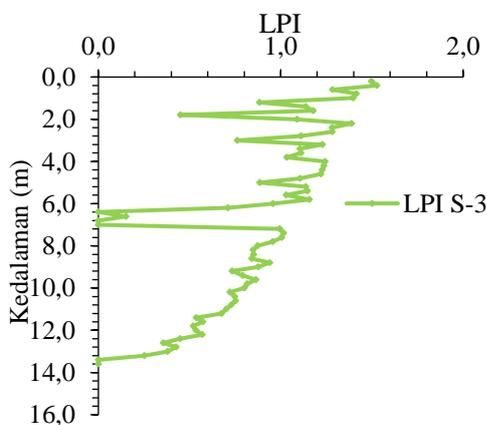
kedalaman 0,2 m hingga kedalaman 13,2 m, hal tersebut dikarenakan pada interval kedalaman tertentu memiliki nilai  $CSR > CRR$  sehingga menghasilkan nilai  $FS < 1$ . Berdasarkan evaluasi nilai  $CSR$  dan  $CRR$  maka didapatkan nilai  $FS$  yang kemudian digunakan untuk menentukan tingkat potensi likuifaksi yang dinyatakan dalam nilai  $LPI$  yang dapat dilihat pada Gambar 8 sampai dengan 11.



Gambar 9. Nilai LPI titik 2

Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai  $LPI$  yang dimiliki setiap lapisan titik S-1 bervariasi dari 0 hingga 1,512. Total nilai  $LPI$  pada seluruh lapisan adalah sebesar 48,405 sehingga masuk ke dalam kategori tingkat sangat tinggi untuk berpotensi terjadinya likuifaksi.

Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai  $LPI$  yang dimiliki setiap lapisan titik S-2 bervariasi dari 0 hingga 1,503. Total nilai  $LPI$  pada seluruh lapisan adalah sebesar 52,160 sehingga masuk ke dalam kategori tingkat sangat tinggi untuk berpotensi terjadinya likuifaksi.

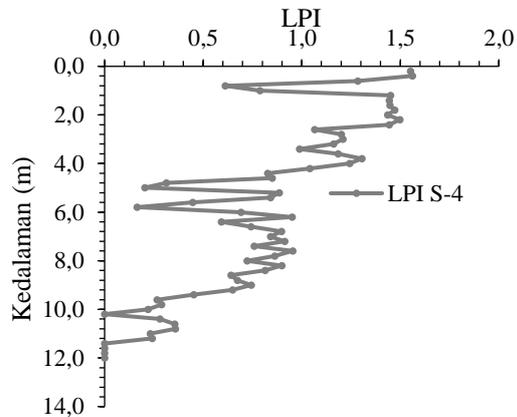


Gambar 10. Nilai LPI titik 3

Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai  $LPI$  yang dimiliki setiap lapisan titik S-3 bervariasi dari 0 hingga 1,527. Total nilai  $LPI$  pada seluruh lapisan

adalah sebesar 57,498 sehingga masuk ke dalam kategori tingkat sangat tinggi untuk berpotensi terjadinya likuifaksi.

Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai  $LPI$  yang dimiliki setiap lapisan titik S-4 bervariasi dari 0 hingga 1,561. Total nilai  $LPI$  pada seluruh lapisan adalah sebesar 46,942 sehingga masuk ke dalam kategori tingkat sangat tinggi untuk berpotensi terjadinya likuifaksi.



Gambar 11. Nilai LPI titik 4

Berdasarkan hasil analisis data yang kemudian telah disajikan dalam bentuk grafik dapat dikatakan bahwa titik pengujian sondir S-1, S-2, S-3, dan S-4 berpotensi terhadap likuifaksi dikarenakan terdapat lapisan tanah yang memiliki nilai  $FS < 1$ , namun terdapat di beberapa kedalaman lapisan tanah memiliki nilai  $FS > 1$  sehingga lapisan tersebut tidak berpotensi terhadap likuifaksi. Profil tanah pada titik uji S-1 hingga S-4 dominan masuk dalam kategori “Sands – clean sand to silty sand” atau “Pasir – pasir bersih hingga lanau” dengan muka air tanah relatif dangkal, sehingga menurut Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa likuifaksi akan mudah terjadi pada tanah pasir-lanau serta likuifaksi tidak selalu terjadi pada seluruh kedalaman namun dapat terjadi pada kedalaman tertentu.

Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT sangat bergantung pada tingkat kepadatan suatu tanah yang didasarkan oleh nilai tahanan ujung konus dan tahanan geser yang dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang terjadi di setiap kedalaman. Berdasarkan hasil  $FS$  yang didapat, maka dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui tingkat potensi likuifaksi yang terjadi dengan menentukan nilai  $LPI$ .

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan distribusi ukuran butir tanah dan data

CPT maka dapat ditarik kesimpulan bahwa Potensi likuifaksi pada Titik Wijirejo 1 dan Titik Wijirejo 2 di Desa Wijirejo, Kecamatan Pandak, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, berdasarkan kurva gradasi tanah yang berpotensi likuifaksi (Tschuda,1970) merupakan tanah yang memiliki potensi terhadap likuifaksi dikarenakan kurva distribusi butiran tanah Titik Wijirejo 1 dan Titik Wijirejo 2 memasuki zona gradasi ukuran butiran tanah yang memiliki potensi terhadap likuifaksi. Potensi likuifaksi berdasarkan data CPT akan terjadi pada lapisan yang memiliki nilai CRR/CSR < 1 atau FS < 1, dari hasil analisis data menunjukkan bahwa seluruh titik sondir yaitu S-1, S-2, S-3, dan S-4 berpotensi terhadap likuifaksi dengan potensi likuifaksi yang terjadi pada kedalaman kisaran 0,2 – 13,2 meter. Potensi likuifaksi berdasarkan nilai LPI didapatkan dengan mempertimbangkan nilai faktor keamanan dari hasil analisis data potensi likuifaksi berdasarkan data CPT. Dari hasil analisis data nilai LPI didapatkan hasil nilai LPI pada titik sondir S-1 sebesar 48,405 , pada titik S-2 sebesar 52,160 , pada titik S-3 sebesar 57,498 dan pada titik S-4 sebesar 46,942 sehingga tingkat potensi likuifaksi yang terjadi berdasarkan (Iwasaki et al, 1981) ialah masuk dalam kategori sangat tinggi.

## Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. SNI 1726. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Chakraborty, P., Das, A., & Anil. (2018). Effect of soil grain size on liquefaction strength of sandy soil. *Indian Geotechnical Conference, IGC 2018 IISc Bangalore, December*, 13-15.
- Hakam, A., & Darjanto, H. (2013). Penelusuran potensi likuifaksi pantai padang berdasarkan gradasi butiran dan tahanan penetrasi standar. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1),33-38.
- Hatmoko, J. T., & Suryadharma, H. (2015). Prediction of liquefaction potential study at bantul regency the province of special region of Yogyakarta Indonesia. *Procedia Engineering*, 125,311-316.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil liquefaction during earthquakes*. monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute. Oakland, CA.
- Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure. *first international conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics*, 209–214.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, (2017). *ESDM one map kebencanaan*, Diakses 13 November 2020, dari <https://geoportal.esdm.go.id/kebencanaan/>
- Liao, S. S. C., & Whitman, R. V. (1986). Catalogue of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes. *Report, Departemen of Civil Engineering, MIT, Cambridge*.
- Luna, R., & Frost, J. D. (1998). Spatial liquefaction analysis system. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(1) 48-56.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi teknik & rekayasa kegempaan, Cetakan I*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Robertson, P. K. (2009). Interpretation of cone penetration tests - a unified approach. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(11), 1337–1355.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*, 447-454.
- Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2015). *guide to cone penetration testing* (6th ed.). Gregg Drilling & Testing, Inc. California.
- Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- Sabri, M. R. (2020). Analisis likuifaksi kota padang dengan menggunakan data CPT pada Metode Boulanger & Idriss. *Jurnal Aptek*, 12(2), 121–127.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations division*, 97(9), 1249-1273.
- Tsuchida, H., (1970). Prediction and Countermeasure against liquefaction in sand deposits. *Abstract of the Seminar of the port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Yokosuka, Japan*, 3.1-3.33.
- Youd, T. L., & Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 127(4), 297-313.