

# ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*) STUDI KASUS PROYEK-X DI SURABAYA PUSAT

Irmasanti<sup>1)</sup>, Isnaniati<sup>2)</sup>, Himatul Farichah<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jalan Sutorejo no. 59 Surabaya, 60113

Email: [irmasanti256@gmail.com](mailto:irmasanti256@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jalan Sutorejo no. 59 Surabaya, 60113

Email: [isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id)

<sup>3)</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jalan Sutorejo no. 59 Surabaya, 60113

Email: [himatulfarichah@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:himatulfarichah@ft.um-surabaya.ac.id)

## Abstract

*Liquefaction is the process of changing the nature of the soil from a solid state to a liquid state caused by cyclic loads during an earthquake. Liquefaction occurs in non-cohesive soils (silt to sand) that contain many macro pores, so the ability to hold or bind the water is small. In general, liquefaction occurs in earthquakes above 5 Mw and has shallow groundwater conditions. The city of Surabaya has an earthquake potential of 6.5 Mw and has shallow ground water level. This is what underlies the authors to analyze the potential liquefaction in Surabaya. The liquefaction potential is analyzed by utilizing the Youd-Idriss method (1996) and the Cetin method (2004). A case study selected for this study is located at Porject X, Central of Surabaya. The liquefaction analysis was performed by considering four CPT data which have depth of 9m - 14.2 m. The liquefaction potential is expressed by the CRR (cyclic resistance ratio) and CSR (cyclic shear ratio), which will be influenced the factor of safety (FS). If the FS is more than or equal to 1 than the no soil liquefaction is predicted to occur. Differently, soil liquefaction is concluded to occur if FS is less than 1. The Results of Youd-Idriss method (1996) show that the CRR and CSR are about 0.09 to 2.88 and 0.33 to 0.43, respectively. The FS value is about 0.21 to 7.60. Furthermore, CRR and CSR values obtained by using Cetin method (2004) are about 0.04 to 0.06 and 0.22 to 0.36, respectively. The FS value is about 0.15 to 0.23. From the results of the analysis can be concluded that the FS values produced by Cetin (2004) is smaller as compared to Youd-Idriss method (1996)*

**Keywords:** *Liquefaction, Liquefaction Analysis, CPT, FS.*

## Abstrak

Likuifaksi adalah proses berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa. Likuifaksi terjadi pada tanah non kohesif (lanau sampai pasir) yang mengandung banyak pori makro, sehingga kemampuan menahan atau mengikat airnya kecil. Pada umumnya likuifaksi terjadi pada gempa di atas 5 Mw dan memiliki kondisi muka air tanah yang dangkal. Kota Surabaya memiliki potensi gempa sebesar 6,5 Mw dan memiliki muka air tanah yang dangkal. Hal inilah yang mendasari penulis melakukan analisis potensi likuifaksi di Surabaya. Metode evaluasi potensi likuifaksi yang digunakan adalah metode Youd-Idriss (1996) dan metode Cetin (2004). Studi kasus yang di analisa berlokasi di Proyek-X, Surabaya Pusat. Analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan empat titik sondir dari data CPT yang memiliki kedalaman 9 m – 14,2 m. Hasil analisis potensi likuifaksi yang diperoleh dari ke dua metode berupa nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CSR (*Cyclic Stress Ratio*), yang akan mempengaruhi besar kecilnya nilai faktor keamanan (FS). Jika nilai nilai FS  $\geq 1$  maka tidak ada potensi likuifaksi. Sebaliknya jika nilai FS < 1 maka ada potensi likuifaksi. Hasil analisis dengan metode Youd-Idriss (1996) menunjukkan bahwa Nilai CRR dan CSR yang diperoleh adalah antara 0,09-2,88 dan 0,33 – 0,43, secara berurutan. Nilai FS yang dihasilkan antara 0,21 – 7,60. Sedangkan hasil analisis dengan metode Cetin (2004) menunjukkan bahwa nilai CRR dan CSR yang lebih kecil, yaitu antara 0,04-0,06 dan 0,22 - 0,36, secara berurutan. Nilai FS yang dihasilkan antara 0,15-0,23. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa nilai FS yang dihasilkan metode Cetin (2004) lebih kecil dibandingkan dengan metode Youd-Idriss (1996).

**Kata kunci:** Likuifaksi, Analisis likuifaksi, CPT, FS.

## PENDAHULUAN

Likuifaksi (*liquefaction*) adalah proses berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat

mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Salah satu jenis gempa yang sering menyebabkan likuifaksi adalah gempa tektonik akibat patahan lempeng bumi. Menurut Permana (2018) “Pada umumnya likuifaksi terjadi pada

gempa di atas 5 Mw dan memiliki kondisi muka air tanah yang dangkal”.

Dari hasil Penelitian Pusat Gempa Nasional (2017) ditemukan adanya penambahan sesar aktif di Pulau Jawa yaitu sesar Surabaya dan sesar Waru. Keduanya berpotensi untuk menimbulkan gempa besar, yakni sampai dengan angka 6,5 Mw. Selain itu Kondisi tanah terdiri dari lapisan atas yang didominasi equiver asin, dan mengandung pasir. Ada dugaan likuifaksi dari hasil tes biofisika yang sudah dilakukan dan diperjelas dengan riset lanjutan berupa pengambilan sembilan contoh tanah yang ada di Surabaya dari kedalaman 0-30 meter.

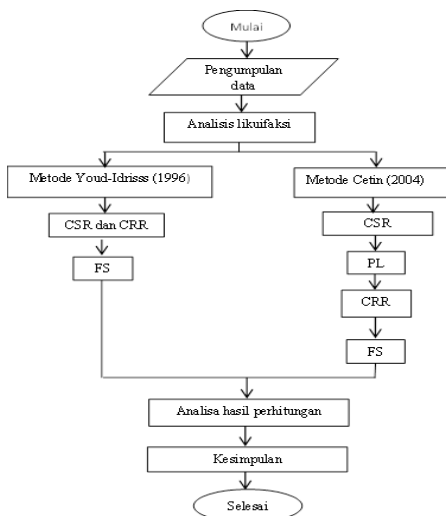
Kondisi muka air tanah di Surabaya tersebar merata hanya ketebalannya yang berbeda-beda. Akibat ketidakseimbangan antara air tanah menyebabkan mudahnya terjadi amblesan tanah di wilayah Surabaya”. Hal inilah yang melatar belakangi penulis untuk menganalisa potensi likuifaksi di wilayah Surabaya Selatan dengan mencari nilai faktor keamanan (FS) dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) dari data CPT (*Cone Penetration Test*), kemudian menghitung nilai PL (Probabilitas Likuifaksi) untuk memprediksi resiko besarnya likuifaksi di suatu lokasi.

**METODE PENELITIAN**

Analisis potensi likuifaksi dilakukan pada empat titik sondir (S1-S4) dengan kedalaman 9 m-14,2m dan memiliki muka air tanah antara 1,3 m – 1,5 m. Dari data yang diperoleh disimpulkan dalam perhitungan ini parameter yang digunakan antara lain :

1. Kedalaman = 9 m -14,2 m
2. MAT (muka air tanah) = 1,3-1,5 m
3. Nilai  $a_{max}$  (percepatan batuan dasar) = 0.3 g
4. Nilai Mw (magnitude gempa) = 6,5 Mw

**Diagram alir proses penelitian**



Gambar 1. Diagram alir proses analisis potensi likuifaksi

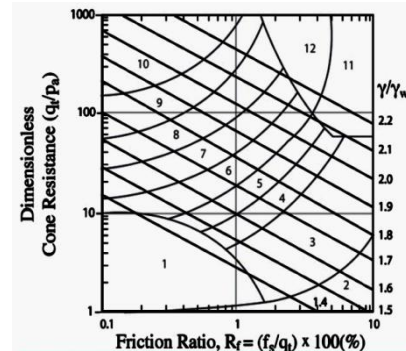
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perhitungan CRR dan CSR dengan Metode Youd-Idriss (1996)**

1. Perhitungan nilai berat volume tanah ( $\gamma$ )

Pada sondir pertama (S1) kedalaman 1,2 m diperoleh, nilai  $q_c = 300 \text{ kN/m}^2$ ,  $P_a = 101,3 \text{ KPa}$  sehingga nilai  $q_c/p_a = 2,96$ .

Nilai FR = 6,02, diperoleh nilai korelasi antara  $q_c/p_a$  dengan FR dari Gambar (2) sebesar  $\gamma/\gamma_w = 2$ , sehingga besarnya  $\gamma = \frac{\gamma}{\gamma_w} \cdot \gamma_w = 2 \times 9,81 = 19,62 \text{ kN/m}^3$ .



Gambar 2. Grafik CPT vs Unit Weight Correlation  
Sumber :Dr.Grow,(Senior Geotechnical Consultant)

2. Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah ditentukan berdasarkan grafik perilaku tanah pada Gambar (2), yang selanjutnya akan dikorelasikan dengan Tabel (1) untuk mengetahui jenis tanahnya. Hasil pengolahan data untuk klasifikasi tanah pada lokasi sondir dapat dilihat pada Tabel (2)

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan zona

Zone	Soil behavior type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grined
12	Sand to clayey sand

Sumber : P.K. Robertson(1986)

Tabel 2. Klasifikasi tanah pada lokasi sondir

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	n
S1	1.2 s/d 8.4	Clay	1
	8.6, 12.2 s/d 13.2	Very stiff fine grined	0.5
	9, 11.2 s/d 12	Sand to clayey sand	0.7
	13.4 s/d 13.6	Sand to clayey sand	0.7
	9.2 s/d 10.6	Gravelly sand to sand	0.5
	10.8	Sand to silty sand	0.6
S2	11	Sand	0.5
	1.2 s/d 6	Clay	1
	6.2, 7.8 s/d 8.10	Sand to silty sand	0.6
	6.4, 7.2, 7.6	Sand	0.5
	6.6 s/d 7, 7.4, 8.2 s/d 9.8	Gravelly sand to sand	0.5
	10.2 s/d 10.6	Sand to clayey sand	0.7
S3	10.8 s/d 11.4	Very stiff fine grined	0.5
	1 s/d 8.8	Clay	1
	9, 12 s/d 13.2	Sand to clayey sand	0.7
	9.2 s/d 9.6, 10.2 s/d 11.6, 13.4	Gravelly sand to sand	0.5
S4	9.8 s/d 10, 11.8	Sand to silty sand	0.6
	1 s/d 8.6	Clay	1
	8.8	Silty clay to clay	0.8
	9	Sand to silty sand	0.6

Sumber : Hasil analisis data penulis (2020)

### 3. Perhitungan tegangan total ( $\sigma_v$ )

Contoh perhitungan untuk mencari nilai tegangan total ( $\sigma_v$ ) pada sondir pertama (S1) sebagai berikut :

Perhitungan npada kedalaman 1,2 m untuk lapisan tanah pertama,

$$\sigma_v = h \cdot \gamma$$

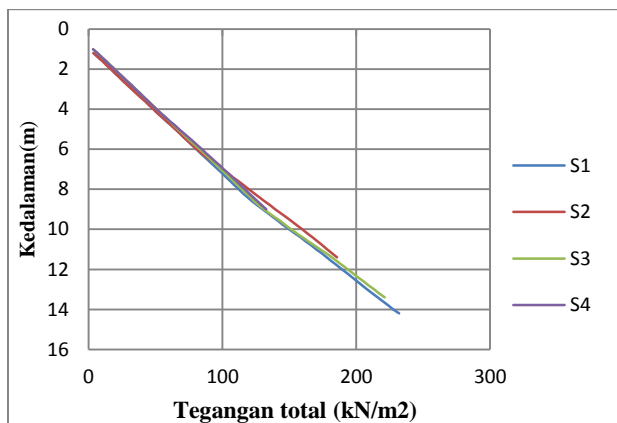
$$= (1,2-1) \cdot 19,62 = 3,92 \text{ kN/m}^2$$

Sedangkan pada kedalaman 1,4 m untuk lapisan tanah ke dua,

$$\sigma_v = h \cdot \gamma + \sigma_{v1,2}$$

$$= (1,4-1,2) \cdot 19,62 + 3,92 = 7,85 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan nilai tegangan total ( $\gamma$ ) disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (3).



Gambar 3 Grafik h vs ( $\sigma_v$ )  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

### 4. Perhitungan tegangan air pori (u)

Contoh perhitungan nilai tegangan air pori (u) pada sondir pertama (S1) dengan MAT 1,5 m, pada kedalaman 1,6 m sebagai berikut :

$$u = (ha - h) \times \gamma_w$$

$$= (1,6 - 1,5) \times 9,81 = 0,98 \text{ kN/m}^2$$

Sedangkan untuk nilai tegangan air pori yang berada di lapisan bawahnya pada kedalaman 1,8 m adalah :

$$u = (ha - h) \times \gamma_w + u_{1,8}$$

$$= (1,8 - 1,6) \times 9,81 + 0,98 = 2,94$$

### 5. Perhitungan tegangan efektif ( $\sigma'_v$ )

Contoh perhitungan untuk mencari nilai tegangan efektif ( $\sigma'_v$ ) dengan MAT 1,5 m pada sondir pertama (S1) sebagai berikut :

Perhitungan pada kedalaman 1,2 m di atas muka air tanah,

$$\sigma'_v = \sigma_v$$

$$3,92 \text{ kN/m}^2 = 3,92 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan pada kedalaman 1,4 m di atas muka air tanah,

$$\sigma'_v = \sigma_v$$

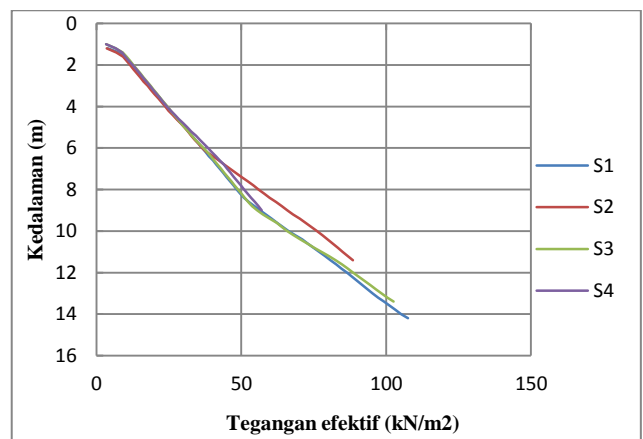
$$7,85 \text{ kN/m}^2 = 7,85 \text{ kN/m}^2$$

Sedangkan pada kedalaman 1,6 m yang berada di bawah muka air tanah,

$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

$$= 10,99 - 0,98 = 10,01 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan nilai tegangan efektif ( $\sigma'_v$ ) disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (4).



Gambar 4. Grafik h vs  $\sigma'_v$   
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

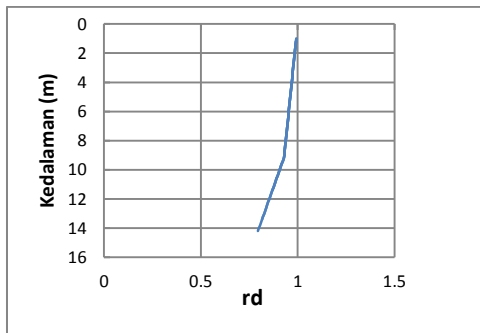
6. Perhitungan nilai rd

Contoh perhitungan nilai rd pada sondir pertama (S1) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pada kedalaman 1,2m } (\leq 9,15 \text{ m}), \\ rd &= 1,0 - 0,00765.z \\ &= 1,0 - 0,00765 \cdot 1,2 = 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sedangkan pada kedalaman 10,2 } (9,15 \leq z \leq 23 \\ \text{m}), \\ rd &= 1,174 - 0,026.z \\ &= 1,174 - 0,026 \cdot 10,2 = 0,90 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai rd disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (5).



Gambar 5. Grafik h vs nilai rd metode Youd-Idriss (1996)

Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

7. Perhitungan nilai Q

Contoh perhitungan nilai Q pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$\begin{aligned} Q &= \{(q_c - \sigma_v) / Pa\} [(Pa / \sigma'_v)^n] \\ &= \{(300 - 3,92) / 101,3\} [(101,3 / 3,92)^1] = 75,45 \end{aligned}$$

Pada kedalaman 1,2 m nilai n = 1 , karena jenis tanahnya “clay” . Sedangkan untuk kedalaman 8,6 m nilai n = 0,5 karena jenis tanahnya “Very stiff fine grined”, sehingga besarnya nilai Q adalah :

$$\begin{aligned} Q &= \{(q_c - \sigma_v) / Pa\} [(Pa / \sigma'_v)^n] \\ &= \{(1600 - 122,23) / 101,3\} [(101,3 / 52,58)^{0,5}] \\ &= 20,25 \end{aligned}$$

8. Perhitungan nilai F

Contoh perhitungan nilai F sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F &= \{fs / (q_c - \sigma_v)\} \times 100\% \\ &= \{16 / (300 - 7,85)\} \times 100\% = 0,055 \end{aligned}$$

9. Perhitungan nilai Ic

Contoh perhitungan nilai Ic sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Ic &= \{(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2\}^{0,5} \\ &= \{(3,47 - \log 37,23)^2 + (1,22 + \log 0,055)\}^{0,5} \\ &= 1,90 \end{aligned}$$

10. Perhitungan nilai Cq

Contoh perhitungan nilai Cq pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$\begin{aligned} C_q &= \left(\frac{pa}{\sigma'_v}\right)^n \\ &= \left(\frac{101,3}{3,92}\right)^1 = 25,82 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Pada kedalaman 1,2 nilai n = 1 , karena jenis tanahnya “clay” . Sedangkan untuk kedalaman 8,6 nilai n = 0,5, karena jenis tanahnya “Very stiff fine grined”, sehingga besarnya nilai Cq adalah :

$$\begin{aligned} C_q &= \left(\frac{pa}{\sigma'_v}\right)^n \\ &= \left(\frac{101,3}{52,58}\right)^{0,5} = 1,39 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

11. Perhitungan nilai qcIN

Contoh perhitungan nilai qcIN pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$\begin{aligned} q_{cIN} &= C_q (q_c / Pa) \\ &= 25,82 (300 / 101,3) = 76,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

12. Perhitungan nilai Kc

Contoh perhitungan nilai Kc pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,4 m adalah :

Pada Kedalaman 1,4 m nilai Ic = 1,90 (Ic > 1,64) sehingga nilai Kc besarnya,

$$\begin{aligned} Kc &= -0,403 \cdot Ic^4 + 5,581 \cdot Ic^3 - 21,63 \cdot Ic^2 + 33,75 \cdot Ic - 17,88 \\ &= -0,403 \cdot 1,90^4 + 5,581 \cdot 1,90^3 - 21,63 \cdot 1,90^2 + 33,75 \cdot 1,90 - 17,88 \\ &= 1,19 \end{aligned}$$

13. Perhitungan nilai (qcIN)cs

Contoh perhitungan nilai (qcIN)cs pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,4 m adalah :

$$\begin{aligned} (q_cIN)_{cs} &= Kc \cdot q_cIN \\ &= 1,19 \cdot 38,23 = 45,43 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

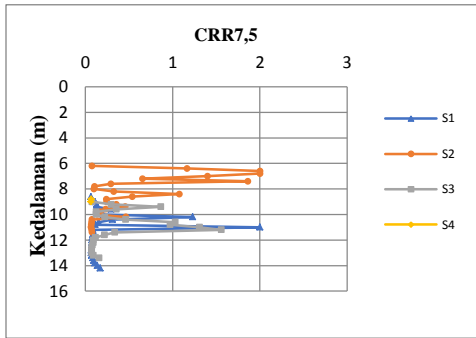
14. Perhitungan nilai CRR7,5

Pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 8,6 m nilai (qcIN)cs < 211 yaitu sebesar 34,69, sehingga nilai CRR7,5 adalah :

$$\begin{aligned} CRR_{7,5} &= \left(\frac{(q_cIN)_{cs}}{540}\right) + \left(\frac{(q_cIN)_{cs}}{67}\right)^2 - \left(\frac{(q_cIN)_{cs}}{80}\right)^3 + \\ &\quad \left(\frac{(q_cIN)_{cs}}{114}\right)^4 - 3 \\ &= \left(\frac{34,69}{540}\right) + \left(\frac{34,69}{67}\right)^2 - \left(\frac{34,69}{80}\right)^3 + \\ &\quad \left(\frac{34,69}{114}\right)^4 - 3 \\ &= 0,06 \end{aligned}$$

Sedangkan pada kedalaman 11 m nilai  $(q_c IN)_{cs} > 211$  yaitu sebesar 508,90 sehingga nilai  $CRR_{7,5}$  adalah :  
Jika nilai  $(q_c IN)_{cs} > 211$   
 $CRR_{7,5} = 2$

Perhitungan nilai  $CRR_{7,5}$  disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (6).



Gambar 6. Grafik h vs nilai  $CRR_{7,5}$   
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

15. Perhitungan nilai MSF

Contoh perhitungan MSF pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$M_w < 7.5, MSF = 10^{2,24} / M_w^{2,56}$$

$$M_w = 6,5$$

$$MSF = 10^{2,24} / 6,5^{2,56} = 1,44$$

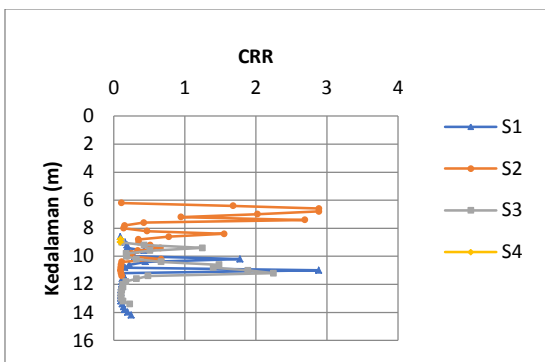
16. Perhitungan nilai CRR

Contoh perhitungan nilai CRR pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 8,6 m adalah :

$$CRR = CRR_{7,5} \cdot MSF \cdot K_{\sigma} \cdot K_{\alpha}$$

$$= 0,06 \cdot 1,44 \cdot 1 \cdot 1 = 0,09$$

Perhitungan nilai CRR disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (7).



Gambar 7. Grafik h vs nilai CRR metode Youd-Idriss (1996)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

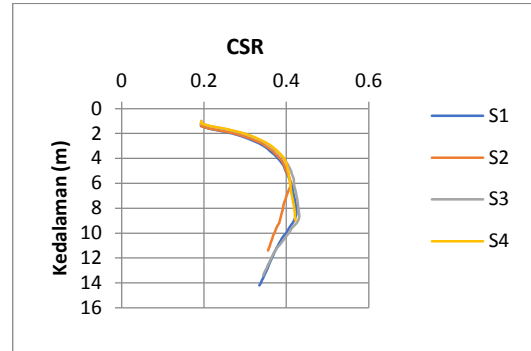
17. Perhitungan nilai CSR

Contoh perhitungan nilai CSR pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$CSR = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d$$

$$= 0,65 \left( \frac{0,3 \cdot g}{g} \right) \cdot \left( \frac{3,92}{3,92} \right) \cdot 0,99 = 0,19$$

Perhitungan nilai CSR disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (8).



Gambar 8. Grafik h vs nilai CSR metode Youd-Idriss (1996)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

Perhitungan CRR dan CSR dengan metode Cetin (2004)

1. Perhitungan nilai  $r_d$

Contoh perhitungan nilai  $r_d$  pada sondir pertama (S1) sebagai berikut :

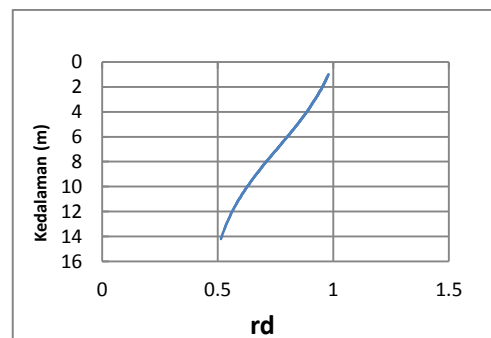
Nilai  $r_d$  pada kedalaman 1,2m ( $< 20m$ ),

$$r_d = \frac{\left[ 1 + \frac{-9,147 - 4,173 \cdot a_{max} + 0,652 \cdot M_w}{10,567 + 0,089 \cdot e^{0,089(-2,3,28 - 7,760 \cdot a_{max} + 78,576)}} \right]}{\left[ 1 + \frac{-9,147 - 4,173 \cdot a_{max} + 0,652 \cdot M_w}{10,567 + 0,089 \cdot e^{0,089(-7,760 \cdot a_{max} + 78,576)}} \right]}$$

$$= \frac{\left[ 1 + \frac{-9,147 - 4,173 \cdot 0,3 + 0,652 \cdot 6,5}{10,567 + 0,089 \cdot e^{0,089(-1,2,3,28 - 7,760 \cdot 0,3 + 78,576)}} \right]}{\left[ 1 + \frac{-9,147 - 4,173 \cdot 0,3 + 0,652 \cdot 6,5}{10,567 + 0,089 \cdot e^{0,089(-7,760 \cdot 0,3 + 78,576)}} \right]}$$

$$= 0,97$$

Perhitungan nilai  $r_d$  disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (9).



Gambar 9 Grafik h vs  $r_d$  metode Cetin (2004)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

2. Perhitungan nilai c

Untuk dapat menghitung nilai  $c$ , terlebih dahulu mencari nilai parameter  $f_1$ , dan  $f_2$  dan  $f_3$ . Nilai  $f_1$ ,  $f_2$  dan  $f_3$  pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

Contoh perhitungan nilai  $f_1$

$$f_1 = x_1 \cdot qc^{x_2}$$

$$= 0,78 \cdot 300^{-0,33} = 0,1$$

Contoh perhitungan nilai  $f_2$

$$f_2 = -(y_1 \cdot qc^{y_2} + y_3)$$

$$= -(-0,32 \cdot 300^{-0,35} + 0,49) = -0,447$$

Contoh perhitungan nilai  $f_3$

$$f_3 = \text{abs}[\log(10 + qc)]^{z_1}$$

$$= \text{abs}[\log(10 + 30)]^{1,21} = 3,02$$

Contoh perhitungan nilai  $c$

$$c = f_1 \cdot \left(\frac{FR}{f_3}\right)^{f_2}$$

$$= 0,119 \cdot \left(\frac{6,02}{3,02}\right)^{-0,447} = 0,807$$

### 3. Perhitungan nilai $Cq$

Contoh perhitungan nilai  $Cq$  pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$Cq = \left(\frac{Pa}{\sigma'_v}\right)^c$$

$$= \left(\frac{101,3}{3,92}\right)^{0,807} = 0,0013 \text{ MPa}$$

### 4. Perhitungan nilai $qc,1$

Contoh perhitungan nilai  $qc,1$  pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah:

$$qc,1 = Cq \cdot qc$$

$$= 0,0013 \cdot 300 = 0,0004 \text{ MPa}$$

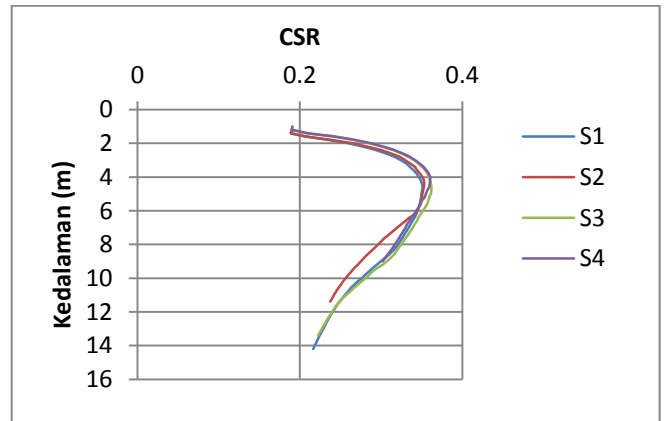
### 5. Perhitungan nilai CSR

Contoh perhitungan nilai CSR pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right) \cdot rd$$

$$= 0,65 \left(\frac{0,3g}{g}\right) \cdot \left(\frac{3,92}{3,92}\right) \cdot 0,96 = 0,19$$

Perhitungan nilai disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (10).



Gambar 10 Grafik h vs CSR metode Cetin (2004)

Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

### 6. Perhitungan nilai PL

Contoh perhitungan nilai PL pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$PL = \Phi \left\{ - \frac{\left[ qc,1^{1,045} + qc,1(0,110.FR) + (0,001.FR) + c(1+0,850.FR) \right]}{1,632} \right\}$$

$$= \left\{ - \frac{\left[ 0,0004^{1,045} + 0,0004(0,110 \cdot 6,02) + (0,001 \cdot 6,02) + 0,087(1+0,850 \cdot 6,02) \right]}{1,632} \right\}$$

$$= 6,16$$

Nilai 6,16 berfungsi sebagai nilai  $x$ , nilai  $x$  dari semua kolom akan digunakan untuk mencari nilai mean, standard deviasi, dan nilai kumulatif sebagai berikut :

$$\text{Mean} = \text{Average (nilai } x \text{ dari semua kolom)}$$

$$= \text{Average (V18:V69)}$$

$$= 8$$

$$\text{Standard\_deviasi} = \text{STDEV (nilai } x \text{ dari semua kolom)}$$

$$= \text{STDEV (V18:V69)}$$

$$= 0,71$$

$$\text{Kumulatif} = \text{SUM (nilai } x \text{ dari semua kolom)}$$

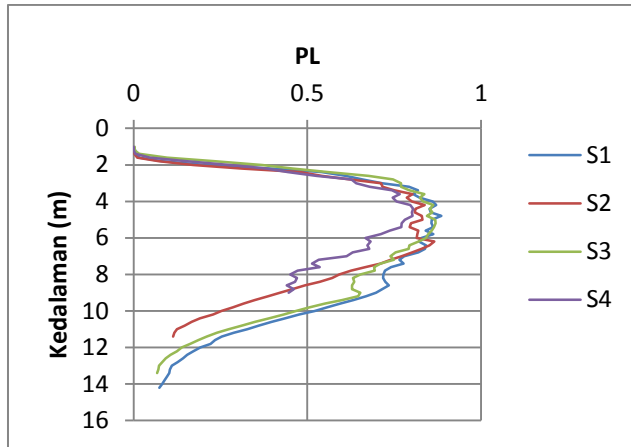
$$= \text{SUM (V18:V69)}$$

$$= 520,04$$

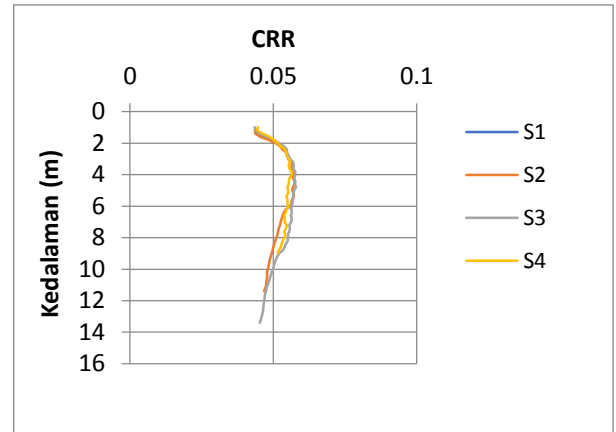
$$PL = \text{NORMDIST}(x, \text{mean}, \text{standard\_dev}, \text{cumulative}).$$

$$= \text{NORMDIST}(6,16, 8, 0,71, 520,04) = 0,002$$

Perhitungan nilai PL disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (11).



Gambar 11 Grafik h vs PL metode Cetin (2004)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)



Gambar 12. Grafik h vs CRR metode Cetin (2004)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

7. Perhitungan nilai  $\phi^{-1}PL$

Contoh perhitungan nilai  $\phi^{-1}PL$  pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah:

Pada kedalaman 1,2m diketahui nilai PL = 0,005. Nilai PL dari semua kolom akan digunakan untuk mencari nilai mean, dan standard deviasi,

$$\begin{aligned} \text{Mean} &= \text{Average (nilai PL dari semua kolom)} \\ &= \text{Average (W18:W82)} \\ &= 0,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standard deviasi} &= \text{STDEV(Nilai PL dari semua kolom)} \\ &= \text{STDEV(W18:W82)} \\ &= 0,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi^{-1}PL &= \text{NORMINV(probability,mean,standard_dev)} \\ &= \text{NORMINV}(0,005, 0,52, 0,31) = - 0,27 \end{aligned}$$

8. Perhitungan CRR

Contoh perhitungan nilai PL pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$\begin{aligned} \text{CRR} &= \exp \left\{ \frac{[qc, 1^{1,045} + qc, 1(0,110.FR) + (0,001.FR) + c(1 + 0,850.FR)]}{7,177} \right\} \\ &= \exp \left\{ \frac{[0,0004^{1,045} + 0,0004(0,110,6,02) + (0,001,6,02) + 0,087(1 + 0,850,6,02)]}{7,177} \right\} \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai CRR disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (12).

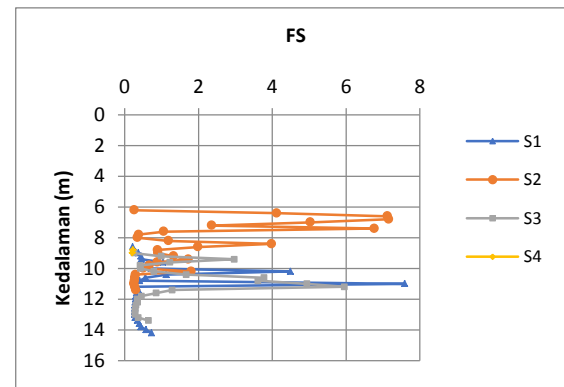
Perhitungan nilai FS dengan metode Youd-Idriss (1996)

1. Perhitungan nilai FS

Contoh perhitungan nilai FS pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 8,6 m adalah :

$$\begin{aligned} \text{FS} &= \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} \\ &= \frac{0,09}{0,42} = 0,22 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai FS disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (13).



Gambar 13 grafik h vs FS metode Youd-Idriss (1996)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

Contoh Perhitungan nilai FS dengan metode Youd-Idriss (1996), disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini :

Tabel 3. Perhitungan FS pada sondir ke dua (S2) kedalaman 7,2 m s/d 11,4 m

Kedalaman (m)	qc (Kn/m <sup>2</sup> )	CRR7.5	CRR	CSR	FS
7.2	8500	0.65	0.94	0.40	2.36
7.4	10500	1.86	2.69	0.40	6.77
7.6	7600	0.29	0.42	0.39	1.07
7.8	5000	0.10	0.15	0.39	0.39
8	4500	0.10	0.14	0.39	0.36
8.2	11900	0.32	0.47	0.39	1.20
8.4	15200	1.08	1.55	0.39	3.99
8.6	12400	0.53	0.77	0.39	1.99
8.8	10000	0.24	0.35	0.39	0.90
9	10800	0.24	0.35	0.38	0.91
9.2	12600	0.35	0.51	0.38	1.33
9.4	14500	0.45	0.65	0.38	1.73
9.6	11600	0.23	0.33	0.38	0.89
9.8	9800	0.17	0.25	0.37	0.67
10	7600	0.13	0.19	0.37	0.51
10.2	14200	0.46	0.67	0.37	1.81
10.4	3400	0.08	0.11	0.37	0.30
10.6	3000	0.07	0.10	0.36	0.28
10.8	2600	0.07	0.10	0.36	0.27
11	2000	0.06	0.09	0.36	0.26
11.2	3200	0.07	0.10	0.36	0.29
11.4	3800	0.08	0.11	0.36	0.31

Sumber: Hasil perhitungan penulis (2020)

**Perhitungan nilai FS dengan metode Cetin (2004)**

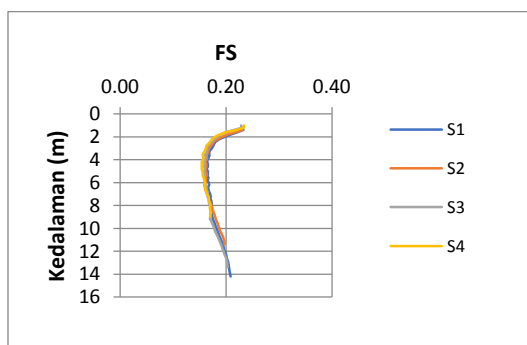
1. Perhitungan FS

Contoh perhitungan nilai FS pada sondir pertama (S1) dengan kedalaman 1,2 m adalah :

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

$$= \frac{0,04}{0,19} = 0,23$$

Perhitungan nilai FS disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar (14).



Gambar 14. Grafik h vs FS metod Cetin (2004)  
Sumber : Hasil analisis penulis (2020)

Contoh Perhitungan nilai FS dengan metode Cetin (2004) disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini :

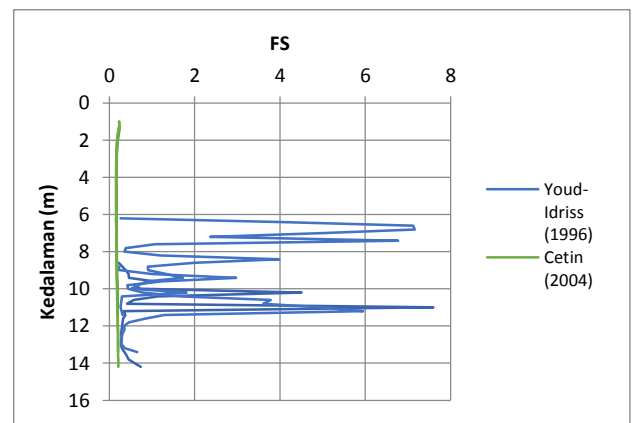
Tabel 4 Perhitungan FS pada sondir ke dua (S2) kedalaman 7,2m s/d 11,4m

Kedalaman (m)	qc (Kn/m <sup>2</sup> )	CSR	PL	ϕ <sup>-1</sup> PL	CRR	FS
7.2	8500	0.31	0.74	0.71	0.05	0.17
7.4	10500	0.31	0.71	0.69	0.05	0.17
7.6	7600	0.30	0.67	0.65	0.05	0.17
7.8	5000	0.30	0.63	0.62	0.05	0.17
8	4500	0.30	0.59	0.60	0.05	0.17
8.2	11900	0.29	0.57	0.58	0.05	0.17
8.4	15200	0.29	0.54	0.56	0.05	0.17
8.6	12400	0.28	0.49	0.53	0.05	0.18
8.8	10000	0.28	0.46	0.50	0.05	0.18
9	10800	0.28	0.42	0.47	0.05	0.18
9.2	12600	0.27	0.39	0.45	0.05	0.18
9.4	14500	0.27	0.35	0.42	0.05	0.18
9.6	11600	0.26	0.32	0.39	0.05	0.18
9.8	9800	0.26	0.29	0.37	0.05	0.19
10	7600	0.26	0.25	0.34	0.05	0.19
10.2	14200	0.25	0.23	0.32	0.05	0.19
10.4	3400	0.25	0.19	0.28	0.05	0.19
10.6	3000	0.25	0.17	0.25	0.05	0.19
10.8	2600	0.24	0.15	0.23	0.05	0.19
11	2000	0.24	0.12	0.20	0.05	0.20
11.2	3200	0.24	0.12	0.19	0.05	0.20
11.4	3800	0.24	0.11	0.18	0.05	0.20

Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)

**Perbandingan nilai FS metode Youd-Idriss (1996) dan metode Cetin (2004)**

Dari hasil analisis data menunjukkan adanya perbandingan nilai FS dari ke dua metode. Berikut ini grafik yang menunjukkan perbandingan nilai FS.



Gambar 15. Grafik perbandingan nilai FS metode Youd-Idriss (1996) dengan metode Cetin (2004)  
Sumber : Hasil perhitungan penulis (2020)



## KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan proses analisis data yang telah dilakukan dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai CRR dengan metode Youd-Idriss (1996) diperoleh nilai CRR terbesar berada pada kedalaman 6,6 m, 7,4 m, dan 11 m, dengan nilai antara 2,69 - 2,88. Nilai CRR terkecil berada pada kedalaman 8,6 m dengan nilai 0,09. Nilai CRR dari ke empat titik sondir dengan metode Cetin (2004) lebih kecil dari pada metode Youd-Idriss (1996) dengan nilai antara 0,04-0,06. Nilai CSR dengan metode Youd-Idriss 1996 diperoleh nilai CSR terbesar berada pada kedalaman 8,4 m dengan nilai 0,43. Nilai CSR terkecil berada pada kedalaman 14,2 m dengan nilai 0,33. Sedangkan nilai CSR terbesar dengan metode Cetin (2004) berada pada kedalaman 3,6 m dengan nilai 0,36 dan nilai CSR terkecil berada pada kedalaman 14,2 m dengan nilai 0,22.
2. Nilai FS dengan metode Youd-Idriss 1996 menunjukkan bahwa ke empat titik sondir (S1-S4) memiliki nilai FS yang besar dengan nilai antara 0,21 - 7,60.
3. Nilai FS dengan metode Cetin 2004, menunjukkan bahwa ke empat titik sondir (S1-S4) memiliki nilai FS yang kecil dengan nilai antara 0,15 - 0,23.
4. Nilai PL dengan metode Cetin 2004, menunjukkan bahwa dari empat titik sondir nilai PL terkecil terletak pada titik sondir ke empat (S4) dengan nilai antara 0,001 - 0,80. Nilai PL terbesar terletak pada titik sondir pertama (S1) dengan nilai antara 0,004 - 0,89.
5. Antara metode Youd-Idriss (1996) dengan metode Cetin (2004) diperoleh potensi likuifaksi terbesar menggunakan metode Cetin (2004).

## Saran

Setelah dilakukan proses perhitungan dan analisis data, adapun saran untuk menunjang kelancaran pada analisis potensi likuifaksi antara lain :

1. Perlunya data tanah dari laboratorium untuk mempermudah klasifikasi tanahnya.
2. Perlunya data tanah yang cenderung pasir.
3. Lokasi penelitian dengan muka air tanah yang dangkal.
4. Lokasi penelitian memiliki potensi gempa dengan nilai magnitude di atas 5,5 Mw

## Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada orang tua saya yang selalu mendukung dan mendoakan saya. Terimakasih kepada dosen pembimbing saya ibu Isnaniati dan ibu Farichah yang sabar dan tegas dalam membimbing saya untuk menyelesaikan karya ilmiah ini.

## Keterangan Simbol

$a_{max}$	= percepatan tanah maximum akibat gempa (g)
$g$	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
$\sigma_v$	= tegangan total ( $kN/m^2$ )
$\sigma'_v$	= tegangan efektif ( $kN/m^2$ )
rd	= koefisien tegangan reduksi
$\gamma$	= berat volume tanah ( $kN/m^3$ )
h	= kedalaman tanah (m)
u	= tekanan air pori tanah ( $kN/m^2$ )
$\gamma_w$	= berat volume air ( $9,81kN/m^3$ )
Mw	= nilai momen magnitude gempa bumi
Q	= nilai CPT tak berdimensi
qc	= nilai tahanan ujung konus ( $kN/m^2$ )
Pa	= tekanan 1 atm (101,3 KPa)
n	= nilai eksponen jenis tanah
F	= nilai faktor relative kerapatan tanah
FR	= nilai <i>friction ratio</i> CPT
$q_c IN$	= nilai tahanan ujung terkoreksi ( $kN/m^2$ )
Cq	= faktor normalisasi tahanan ujung konus ( $kN/m^2$ )
Pa	= tekanan pada 1 atm (101,3 KPa)
$(q_c IN)_{cs}$	= normalisasi <i>clean sand</i> CPT ( $kN/m^2$ )
Kc	= faktor koreksi untuk karakteristik butiran
CRR <sub>7,5</sub>	= nilai ketahanan terhadap gempa pada magnitude 7,5
CRR	= nilai ketahanan terhadap gempa dengan magnitude lebih besar atau lebih kecil dari 7,5
MSF	= faktor pengali magnitude gempa ( <i>magnitude scaling factor</i> )
$K\sigma$	= nilai faktor koreksi lapisan tanah akibat tekanan geser statis
$K\alpha$	= nilai faktor koreksi lapisan tanah akibat tekanan normal statis
qc,1	= normalisasi tahanan ujung (MPa)
c	= normalisasi eksponen
FS	= faktor keamanan
PL	= probabilitas likuifaksi
$\phi^{-1}PL$	= nilai invers probabilitas likuifaksi

## DAFTAR PUSTAKA

- Ayono,Tiffany.11 Okt 2018.Likuifaksi (pencairan tanah) Penyebab Dampak dan Proses.*Ilmu geografi*, (online), (<https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/likuifaksi>), diakses pada tanggal 7 Nov 2018 pukul 19.07).
- Dr.Grow,20 April 2011.CPT vs Unit Weight, *Geotechnical Engineering Practices (Indonesia)* (online), (<https://gouw2007.wordpress.com/2011/04/20/cpt-vs-unit-weight-correlation/>), diakses pada tanggal 04 Des 2018 pkl 21.00).
- Farichah, H. (2019). "A comparative study of deterministic approach for assessing liquefaction potential. " *IOP Conf. Ser. : Mater.Sci. Eng. 669 012041*, Departement of Civil Engineering, University of Muhammadiyah Surabaya.
- Gunawan. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Data SPT (*Standard Penetration*

- Test*) Studi Kasus Kataoma Hotel Project Petitenget, Seminyak-Bali. *Skripsi* (Tidak Diterbitkan). Surabaya: Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Hatmoko, Tri. 2016. *Dinamika Tanah Dan Liquefaction*. Yogyakarta : Cahaya Atma Pustaka.
- Mase, Lindung Zalbuin 2018. Studi Keandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di area Pesisir kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*. XXV (1) : 53-60.
- Moss, R. E. S. (2003). "CPT-based probabilistic assessment of seismic soil liquefaction initiation. "Doctor of Philosophy dissertation, Univ. of California, Berkeley, Calif. (<http://www.fugrowest.com/services/erathquake/html/eqengineering.html>).
- Moss, R. E. S., Seed, R. B. and Olsen, R. S. (2006). "Normalizing the CPT for overburden stress. " *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, in press.
- Olsen, R. S. and Mitchell, J. K. (1995). "CPT stress normalization and prediction of soil classification. " *Proc., Int. Symp. on Cone Penetration Testing, CPT 95*, Linkoping, Sweden, 257-262.
- Putra, Angga. 23 Okt 2013. Klasifikasi Tanah Metode USCS, (online), <http://ilmuanggaputra.blogspot.com/2013/10/klasifikasi-tanah-metode-uscs-unified.html>, diakses pada tanggal 24 okt 2018).
- Vicky, Christian. dkk. 2013. Analisa Potensi Likuifaksi di PT PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2 x 25 MW Power Plan. *Jurusan Sipil Statik*. V 1 No.11.
- Youd, T.L., et al. (2001), "Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils. " *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 127(10), 817-833.
- Zettyara, Firda. dkk. 2018. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data CPT di Kabupaten Tulungagung. *Jurnal Skripsi*. Dipublikasikan Malang : Universitas Brawijaya.