

EVALUASI PERBAIKAN TANAH DENGAN METODE *DYNAMIC COMPACTION* UNTUK PENANGGULANGAN LIKUIFAKSI

Annisa Yaumil Akhiri¹ dan Edy Purwanto²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia
Email: 14511302@students.uii.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Islam Indonesia
Email: 855110101@staf.uii.ac.id

Abstract : Liquefaction is a phenomenon loss the strength of the soil due to a cyclic load, like the load caused by an earthquake, which causes the soil to deform from solid to liquid. occurs in saturated soil due to increased pore water pressure and effective reduction of soil stress and also reduces the shear strength of the soil. This research has purpose to determine the potential of liquefaction that can occur and how to prevention it with Dynamic Compaction. This research is located in Kulon Progo, the New Yogyakarta International Airport Development Project (NYIA). This research starts from collect of SPT and CPT soil data and laboratory data runway of the New Yogyakarta International Airport (NYIA) Development Project for testing CSR (Cyclic Stress Ratio) and CRR (Cyclic Resistance Ratio) and comparing results before and after compaction. The results showed that there was before soil reinforcement, some soil layers at each review point still have the potential for liquefaction. However, after soil reinforcement with dynamic compaction, it can be concluded that all points of observation are safe from liquefaction potential because all points have a Safety Factor > 1 and has a value $(N_1)_{60} \geq 30$ classified as unliquefied soil. The liquefaction zone is at varying depths ranging from 2 - 6 meters.

Keywords: Liquefaction, Dynamic Compaction, Earthquake

1. PENDAHULUAN

Landasan pacu proyek pembangunan New Yogyakarta International Airport (NYIA) sepanjang 3.250 meter, berjarak 400 meter dari bibir pantai memiliki potensi yang lebih besar untuk dapat terjadinya likuifaksi.



Gambar 1.1 Lokasi Survei Geoteknik

(Sumber : PPBIY, 2017)

Tujuan pada penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi potensi likuifaksi berdasarkan data SPT, CPT dan setelah dilakukan *Dynamic Compaction*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Contoh-contoh penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi untuk penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

Lestari (2018) “Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT dan CPT”. Diperoleh hasil dari klasifikasi tanah pasir kelembungan dan

potensi likuifaksi dengan data SPT dan CPT pada tanah Proyek Pembangunan *New Yogyakarta International Airport* (NYIA).

Dwianta (2015) “Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir”. Diperoleh hasil Magnitudo dan percepatan gempa yang lebih besar menyebabkan lapisan tanah banyak mengalami likuifaksi dan memicu kerusakan di permukaan tanah. Potensi likuifaksi tidak hanya dipengaruhi oleh parameter seismik, tetapi juga oleh litologi tanah.

Ikhsan (2011) “Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur”. Diperoleh hasil potensi likuifaksi yang terjadi berdasarkan data N-SPT dan CPT dengan perhitungan CRR.

3. LANDASAN TEORI

3.1 Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Pada saat mengalami getaran, lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan sehingga tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya, yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadi gempa sehingga tekanan air pori meningkat mendekati atau melampaui tegangan vertikal. Karena tekanan airnya meningkat, jarak antar partikel pasir menjadi semakin renggang, sehingga kekuatan totalnya berkurang drastis.

3.2 Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Evaluasi potensi likuifaksi yaitu dengan melakukan uji beban siklik pada sampel tanah tak terganggu atau bisa juga dengan cara pengukuran karakteristik likuifaksi pada tanah menggunakan beberapa prosedur pengujian di lapangan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi dari hasil uji lapangan yaitu SPT dan CPT. Pada dasarnya prosedur standar evaluasi likuifaksi antara lain dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio

tahanan siklik (CRR) yang bisa didapatkan dari nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), V_s (*shearwave velocity*), dan beberapa uji tanah lainnya termasuk *Becker Penetration Test* (BPT).

a. Metode CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

Langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CRR dari data SPT yaitu pada Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$(N_1)_{60} = N_m \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (1)$$

dimana:

$(N_1)_{60}$ = Nilai N-SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian lapangan

N_m = Nilai tahanan penetrasi standar

C_N = faktor normalisasi N_m terhadap tegangan overburden pada umumnya

C_E = koreksi rasio energy hammer

C_B = koreksi untuk diameter lubang

C_R = faktor koreksi panjang batang

C_S = koreksi untuk sampel

Tabel 3.1 Faktor Koreksi Nilai SPT

Faktor	Variabel Alat	Simbol	Koreksi
Tegangan Total		C_N	$\left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,5}$
		C_N	C_n
Rasio Energi	Hammer Donat	C_E	0,5 - 1,0
	Safety Hammer Automati	C_E	0,7 - 1,2
Diameter Lubang	Hammer	C_E	0,8 - 1,3
	65 - 115 mm	C_B	1
	150 mm	C_B	1,05
Panjang Rod	200 mm	C_B	1,15
	< 3 m	C_R	0,75
	3 - 4 m	C_R	0,8
	4 - 6 m	C_R	0,85
	6 - 10 m	C_R	0,95
	10 - 30 m	C_R	1

Lanjutan Tabel 3.1 Faktor Koreksi Nilai SPT

Faktor	Variabel Alat	Simbol	Koreksi
Metode Sampling	Sampler Standard	C _s	1
	Sampler Standard	C _s	1,1 - 1,3

(Sumber : Youd dan Idriss, 1997)

Faktor ini umumnya dihitung dari Persamaan 2 berikut.

$$CN = (Pa / \sigma'_{vo})^{0.5} \quad (2)$$

dimana:

Pa = 1 atm tekanan yang sama yang digunakan oleh σ'_{vo}

Nilai CN tidak boleh melebihi dari 1,7

Menghitung nilai CRR dengan Persamaan 3 dibawah ini

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N1)60} + \frac{(N1)60}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N1)60 + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (3)$$

Menghitung faktor keamanan likuifaksi dengan Persamaan 4 berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (4)$$

Normalisasi dari tahanan CPT didapatkan dari Persamaan 5 dan 6 sebagai berikut:

$$q_{cIN} = C_N(qc/Pa) \quad (5)$$

$$C_N = (Pa/\sigma'_{vo})^n \quad (6)$$

dimana:

qc_{IN} = Normalisasi hambatan konus

qc = Tahanan ujung konus

C_N = Faktor koreksi normalisasi

Pa = Tekanan atmosfer, sekitar 100 kPa

n = Eksponen yang bervariasi dengan jenis tanah, berkisar dari 0.5 (*clean sand*) sampai 1.0 (*clay*)

Hitungan ekivalensi pasir bersih N-SPT ternormalisasi (q_{cIN})_{cs}. Nilai Kc didefinisikan dari Persamaan 7 berikut.

$$(q_{cIN})_{cs} = Kc \cdot q_{cIN} \quad (7)$$

dimana:

Kc = faktor koreksi untuk karakteristik butiran

Harga tahanan konus ternormalisasi q_{cIN}, untuk pasir kelepungan dikoreksi terhadap pasir bersih (cs) dengan harga (q_{cIN})_{cs} dengan Persamaan 8 dan 9 berikut:

$$\text{Untuk } Ic \leq 1,64 \dots Kc = 1,0 \quad (8)$$

$$\text{Untuk } Ic > 1,64 \dots Kc = -0,403 \cdot Ic^4 + 5,581 \cdot Ic^3 - 21,63 \cdot Ic^2 + 33,75 \cdot Ic - 17,88 \quad (9)$$

Perhitungan nilai Q dengan nilai eksponen n = 0,5 untuk pasir murni (*clean sand*) dan untuk tanah jenis lempung menggunakan nilai eksponen pakai n = 1. Setelah tanah yang diuji telah dikalsifikasikan jenisnya maka dihitung dengan Persamaan 10, 11 dan 12 di bawah ini.

$$Ic = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (10)$$

$$Q = [(qc - \sigma_{vo})/Pa] (Pa/\sigma_{vo}')^n \quad (11)$$

$$F = [fs/(qc - \sigma_{vo})] \times 100\% \quad (12)$$

Jika nilai (q_{cIN})_{cs} < 211

$$CRR_{7,5} = \exp [((q_{cIN})_{cs}/540) + ((q_{cIN})_{cs}/67)^2 - ((q_{cIN})_{cs}/80)^3 + ((q_{cIN})_{cs}/114)^4 - 3] \quad (13)$$

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

3.3 Dynamic Compaction

Metode *Dynamic Compaction* ini ditemukan oleh Menard. Metoda ini bisa menghemat biaya dalam mensubstitusi penggunaan *pile* (tiang pancang) menjadi pondasi dangkal hingga penggunaan beban tertentu sesuai peningkatan kapasitas daya dukung tanah. Di Indonesia metode ini belum banyak diketahui. Tetapi seiring dengan mudahnya informasi yang didapat dan faktor komparasi dengan metode konvensional lainnya yang dikenal, metode ini bisa menjadi pilihan yang patut dipertimbangkan.

Kedalaman pengaruh yang signifikan untuk pemadatan dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 14 berikut ini.

$$D = \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{WH x h} \quad (14)$$

dimana:

D = kedalaman pemadatan (m)

W_H = beban jatuh (ton)

H = tinggi jatuhnya beban (m)

4. METODE PENELITIAN

4.1 Pengujian Penelitian

Tahap analisis dan pengolahan data yang telah diambil (data uji lapangan dan data laboratorium), kemudian diolah menggunakan program *Microsoft Excel* untuk perhitungan CSR dan CRR dengan metode NCEER.

4.2 Analisis Data

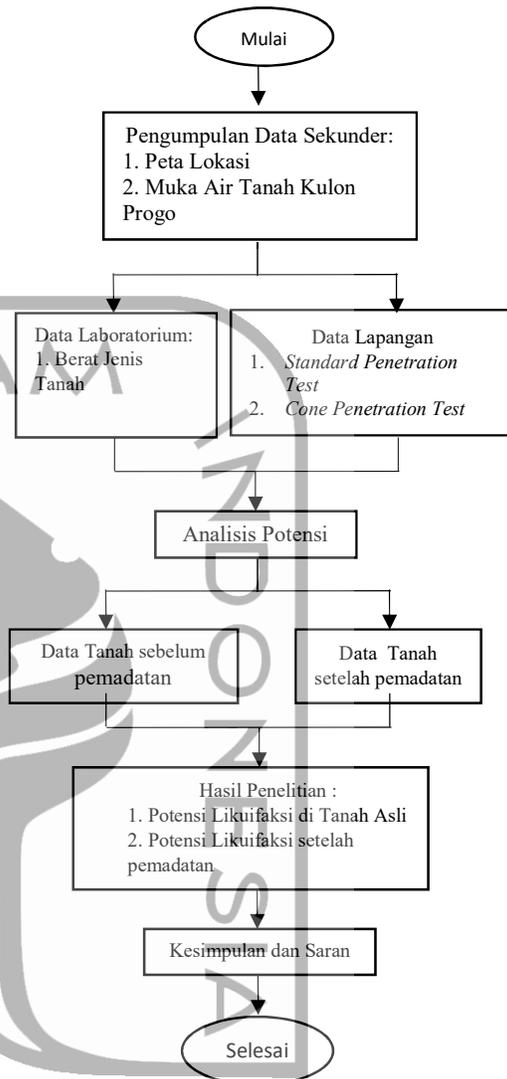
Prosedur untuk menganalisis data SPT.

1. Tanah harus berada dibawah muka air tanah,
2. Langkah selanjutnya ialah menentukan nilai dari *cyclic stress ratio* (CSR),
3. Dengan menggunakan nilai parameter tanah dari faktor koreksi normalisasi $(N_1)_{60}$, maka dapat dihitung nilai *cyclic resistance ratio* (CRR), dan
4. Pada akhirnya akan didapatkan nilai faktor keamanan yang menunjukkan potensi likuifaksi pada tanah tersebut.
5. Pada penelitian digunakan 6 titik tinjauan berdasarkan data SPT.

Pengolahan data CPT menganalisis dengan nilai tahanan konus (qc) dari alat sondir dan nilai f_s atau *local friction* yaitu tahanan yang timbul dari gesekan antara dua permukaan yang saling bergerak relatif satu sama lain.

4.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir (*flow chart*) pada penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Potensi Likuifaksi

Berdasarkan Peta Wilayah Gempa Indonesia SNI 1726-2012 daerah Kulon Progo mempunyai nilai PGA sebesar 0,4 – 0,5 g dan diambil $PGA = 0,4 g$.

Titik *deep boring* pada landasan pacu terdapat 6 titik yaitu DB-01, DB-02, DB-03, DB-04, DB-05, DB-06. Sampel titik sondir diambil sebanyak 6 titik yaitu CPT-01, CPT-02, CPT-03, CPT-07, CPT-09, CPT-11.

1. Analisis Data SPT



Gambar 5.1 Lapisan Tanah DB-01

Data Umum :

Kedalaman lapisan (z) : 14 meter

Muka air tanah : 3,2 meter

a_{max} : 0,4 g

Percepatan gravitasi (g) : 9,81 m/s^2

Berat volume air (γ_w) : 9,81 kN/m^3

1. Perhitungan tegangan efektif (σ_1)

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} \text{Tegangan total } (\sigma_1) &= h \times \gamma \\ &= 2 \times 12,438 \\ &= 24,876 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tekanan angka pori } (u) &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tegangan efektif } (\sigma_1') &= \sigma - u \\ &= 24,876 - 0 \\ &= 24,876 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai reduksi tegangan (rd)

Koefisien reduksi tegangan menunjukkan fleksibilitas profil tanah. Untuk menghitung harga rerata dari rd (Whitmann, 1986)

Syarat:

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

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

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} rd &= 1,0 - 0,00765 \times z \\ &= 1,0 - 0,00765 \times 2 \\ &= 0,9847 \end{aligned}$$

3. Perhitungan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Seed dan Idriss (1971) merumuskan suatu persamaan sebagai berikut:

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right) = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo'}} \right) rd$$

keterangan:

a_{max} : percepatan gempa arah horizontal

g : percepatan gravitasi

σ'_{vo} : tegangan total dan tegangan efektif

rd : koefisien reduksi tegangan

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma'_{v1}}{\sigma'_{v1'}} \right) rd \\ &= 0,65 \times (0,4) \left(\frac{24,876}{24,876} \right) \times 0,9847 \\ &= 0,256 \end{aligned}$$

4. Perhitungan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Nilai CRR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 \times (N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

keterangan:

$(N_1)_{60}$: nilai N SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian lapangan

Sebelum memasuki rumus utama dari CRR terlebih dahulu harus menghitung nilai $(N_1)_{60}$ menggunakan faktor-faktor koreksi terhadap nilai SPT

Diketahui:

Faktor rasio energi (C_E) : 1,2
(Automatic Hammer)

Faktor diameter lubang (C_B) : 1

Faktor panjang rod (C_R) : 0,85

Faktor metode sampling (C_S) : 1

a. Lapisan 1

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$$

$$\begin{aligned}
&= (N \times C_N) \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= \left\{ N \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma'_{VV}}{PA}} \right) \right\} \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \\
&= \left\{ 18 \times \left(\frac{2,2}{1,2 + \frac{24,876}{101,325}} \right) \right\} \times 1,2 \times 1 \times 0,85 \times 1 \\
&= 27,9431 \\
CRR &= \frac{1}{34 - (N1)60} + \frac{(N1)60}{135} + \frac{50}{(10 \times (N1)60 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= \frac{1}{34 - 27,9431} + \frac{27,9431}{135} + \frac{50}{(10 \times 27,9431 + 45)^2} - \frac{1}{200} \\
&= 0,3676
\end{aligned}$$

5. Perhitungan nilai FS

FS adalah nilai yang menunjukkan potensi likuifaksi pada umumnya dituliskan dengan

$$FS = \frac{CRR}{CSR}, \text{ dimana:}$$

Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} < 1$ berarti terjadi likuifaksi

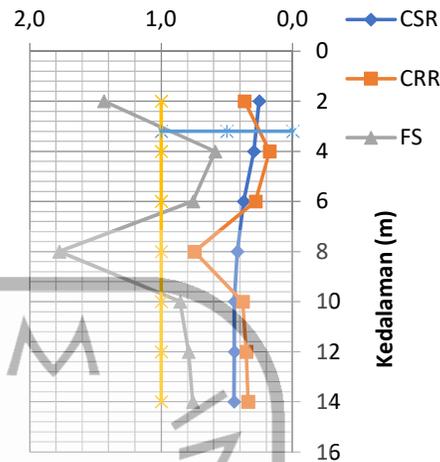
Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} > 1$ berarti kondisi kritis

Jika $FS = \frac{CRR}{CSR} > 1$ berarti tidak terjadi likuifaksi

a. Lapisan 1

$$\begin{aligned}
FS &= \frac{CRR}{CSR} \\
&= \frac{0,3676}{0,2560} \\
&= 1,4357 \text{ (tidak terjadi likuifaksi)}
\end{aligned}$$

Berdasarkan pada hasil perhitungan SPT di titik DB-01 didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.2 yang berisikan sumbu x terdiri dari 3 variabel yaitu nilai CSR, CRR, dan FS dan pada sumbu y merupakan kedalaman titik uji bore hole pada SPT. Dimana apabila nilai FS kurang dari 1 menunjukkan bahwa pada kedalaman tersebut mengalami potensi likuifaksi. Pada titik ini potensi likuifaksi terjadi di lapisan tanah 2 dan 3 di kedalaman 4 – 6 meter.



Gambar 5.2 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman (DB-01)

2. Analisis Data CPT

Adapun data lapangan yang didapatkan dari uji CPT ialah tahanan ujung konus (q_c). Dari nilai q_c yang ada dapat dihitung nilai friksi dan jumlah hambatan lekat pada suatu lapisan tanah. Dari nilai tahanan ujung dapat dihitung nilai CRR yang mewakili nilai ketahanan tanah terhadap beban siklik akibat gempa.

Didapatkan dari data CPT-01

$$h = 0,2 \text{ meter}$$

$$\gamma_d = 12,438 \text{ kN/m}^2$$

1. Perhitungan tegangan efektif (σ')

$$\begin{aligned}
\text{Tegangan total } (\sigma) &= h \times \gamma \\
&= 0,2 \times 12,438 \\
&= 2,4876 \text{ kN/m}^2 \\
\text{Tekanan air pori } (u) &= 0 \text{ kN/m}^2 \\
\text{Tegangan efektif } (\sigma_1') &= \sigma - u \\
&= 2,4876 - 0 \\
&= 2,4876 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai reduksi tegangan (rd)

$$\begin{aligned}
rd &= 1,0 - 0,00765 \times z \\
&= 1,0 - 0,00765 \times 0,4 \\
&= 0,99694
\end{aligned}$$

3. Perhitungan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

$$\begin{aligned} \text{CSR} &= 0,65 \left(\frac{amax}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \right) rd \\ &= 0,65 \times (0,4) \times \left(\frac{2,4876}{2,4876} \right) \times 0,99694 \\ &= 0,2592 \end{aligned}$$

4. Perhitungan nilai Q

Nilai qc didapat dari data CPT-01 pada Lampiran 2.

Nilai qc = 8,78 kg/cm² diubah menjadi 861,01948 kN/m².

Nilai Pa = 1 atm tekanan yang sama yang digunakan oleh σ'_{vo} . Didapatkan Pa = 101,325 kN/m².

$$\begin{aligned} Q &= \left[\frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma_{vo}'} \right)^n \right] \\ &= \left[\frac{861,0195 - 2,4876}{101,325} \right] \left[\left(\frac{101,325}{2,4876} \right)^{0,5} \right] \\ &= 54,076409 \end{aligned}$$

5. Perhitungan nilai F

Nilai fs didapat dari data CPT-01 terlampir pada Lampiran 2.

fs = 0,21 diubah menjadi 20,59386 kN/m².

$$\begin{aligned} F &= \left[\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{20,5939}{861,0195 - 2,4876} \right] \times 100\% \\ &= 0,023987 \end{aligned}$$

6. Perhitungan nilai Ic

$$\begin{aligned} IC &= [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5} \\ &= [(3,47 - \log 54,076409)^2 + (1,22 + \log 0,023987)^2]^{0,5} \\ &= 1,78246 \end{aligned}$$

7. Perhitungan nilai Cq

$$\begin{aligned} Cq &= \left(\frac{Pa}{\sigma_{vo}'} \right)^n \\ &= \left(\frac{101,325}{2,4876} \right)^{0,5} \\ &= 6,382165 \end{aligned}$$

8. Perhitungan qcIN

$$\begin{aligned} qcIN &= Cq (qc/Pa) \\ &= 6,382165 (861,01948/101,325) \\ &= 54,2331 \end{aligned}$$

Hitungan ekivalensi pasir bersih N-SPT ternormalisasi (q_{eIN})_{cs}

Harga tahanan konus ternormalisasi q_{eIN} , untuk pasir kelepungan dikoreksi terhadap pasir bersih (_{cs}) dengan harga (q_{eIN})_{cs} seperti berikut.

$$(q_{eIN})_{cs} = Kc \cdot q_{eIN}$$

dimana:

Kc = faktor koreksi untuk karakteristik butiran yang didefinisikan oleh persamaan berikut (Robertson and Wride, 1998)

$$\text{Untuk } Ic \leq 1,64 \dots Kc = 1,0$$

$$\text{Untuk } Ic > 1,64 \dots Kc = -0,403 \cdot Ic^4 + 5,581 \cdot Ic^3 - 21,63 \cdot Ic^2 + 33,75 \cdot Ic - 17,88$$

Pada perhitungan nilai Ic diatas, didapatkan nilai Ic = 1,78246

$$Ic > 1,64$$

$$Kc = -0,403 \cdot Ic^4 + 5,581 \cdot Ic^3 - 21,63 \cdot Ic^2 + 33,75 \cdot Ic - 17,88$$

$$= -0,403 \cdot 1,78246^4 + 5,581 \cdot 1,78246^3 - 21,63 \cdot 1,78246^2 + 33,75 \cdot 1,78246 - 17,88$$

$$= 1,09408$$

$$(q_{eIN})_{cs} = Kc \cdot q_{eIN}$$

$$= 1,09408 \times 54,2331$$

$$= 59,3353$$

9. Perhitungan CRR

$$CRR = \exp \left[\left(\frac{(q_{eIN})_{cs}}{540} \right) + \left(\frac{(q_{eIN})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{eIN})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{eIN})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

$$= \exp \left[\left(\frac{59,3353}{540} \right) + \left(\frac{59,3353}{67} \right)^2 - \left(\frac{59,3353}{80} \right)^3 + \left(\frac{59,3353}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

$$= 0,087122$$

Berdasarkan nilai (q_{eIN})_{cs} yang diperoleh yaitu 59,3353 sehingga dalam buku *Soil Liquefaction During Earthquake* tulisan LM Idriss dan R.W. Boulanger diketahui bahwa nilai CRR_{7,5} sebagai berikut:

Jika nilai $(q_{cIN})_{cs} < 211$

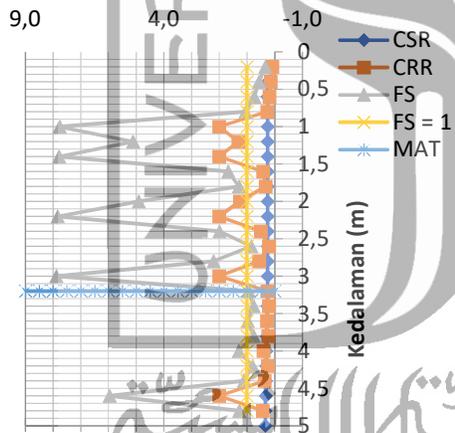
$$CRR_{7,5} = \exp \left[\left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{540} \right) + \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{cIN})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

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

10. Perhitungan FS

$$\begin{aligned} FS &= \frac{CRR}{CSR} \\ &= \frac{0,087122}{0,25920} \\ &= 0,33611 < 1 \text{ (terjadi likuifaksi)} \end{aligned}$$

Berdasarkan pada hasil perhitungan CPT di titik CPT-01 didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.3 yang berisikan sumbu x terdiri dari 3 variabel yaitu nilai CSR, CRR, dan FS dan pada sumbu y merupakan kedalaman titik uji pada CPT. Pada titik ini potensi likuifaksi terjadi di beberapa lapisan tanah dan secara garis besar dapat disimpulkan terjadi hingga kedalaman 4,4 meter.



Gambar 5.3 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman (CPT-01)

5.2 Analisis Potensi Likuifaksi Setelah Pemadatan

Perhitungan *Bore Hole* DB-01.

Data Umum:

Kedalaman lapisan (z) : 10 meter

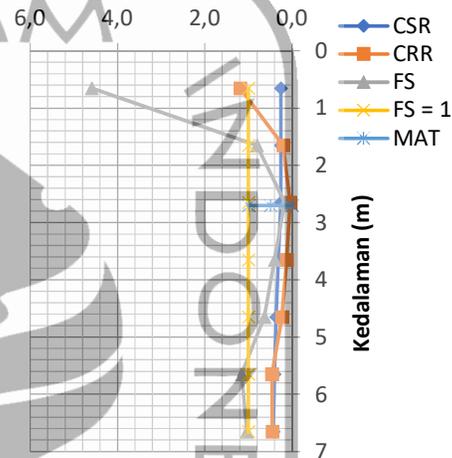
Muka air tanah : 2,7 meter

a_{max} : 0,4 g

Percepatan gravitasi (g) : 9,81 m/s²

Berat volume air (γ_w) : 9,81 kN/m³

Berdasarkan pada hasil perhitungan data SPT setelah pemadatan di titik DB-01 didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.4. Pada titik ini seluruh lapisan tanah aman dari dari potensi likuifaksi meskipun di beberapa lapisan tanah didapatkan nilai FS < 1 tetapi nilai $(N_1)_{60} \geq 30$ sehingga diklasifikasikan sebagai tanah yang tidak dapat terlikuifaksi.



Gambar 5.4 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman (DB-01)

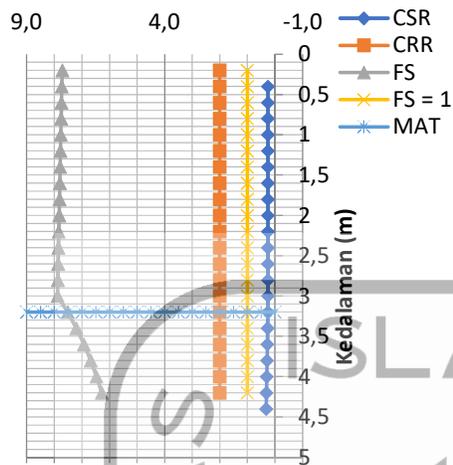
Perhitungan CPT-01

Didapatkan data:

H = 0,2

$\gamma = 12,438$

Berdasarkan pada hasil perhitungan data CPT setelah pemadatan di titik CPT-01 didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.5. Pada titik CPT-01 ini semua lapisan tanah di setiap kedalaman aman dari likuifaksi selain karena memiliki nilai *Safety Factor* > 1 dan karena nilai $(q_{cIN})_{cs} > 211$ sehingga didapatkan nilai $CRR_{7,5} = 2$.



Gambar 5.5 Grafik CSR, CRR, FS vs Kedalaman (CPT-01)

Tabel 5.1 Rekapitulasi Perhitungan SPT-01 Sebelum dan Setelah Pemasangan

	Lapisan	Kedalaman	Tanah Asli			Status	Kedalaman	Tanah Setelah Pemasangan			Status
			CSR	CRR	FS			CSR	CRR	FS	
DB-01	1	2	0,256	0,367	1,435	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,65	0,258	1,188	4,592	Tidak Terjadi Likuifaksi
	2	4	0,296	0,174	0,589	Terjadi Likuifaksi	1,65	0,256	0,206	0,804	Tidak Terjadi Likuifaksi
	3	6	0,372	0,282	0,757	Terjadi Likuifaksi	2,65	0,254	0,043	0,170	Tidak Terjadi Likuifaksi
	4	8	0,420	0,747	1,777	Tidak Terjadi Likuifaksi	3,65	0,315	0,126	0,401	Tidak Terjadi Likuifaksi
	5	10	0,443	0,379	0,855	Tidak Terjadi Likuifaksi	4,65	0,367	0,232	0,633	Tidak Terjadi Likuifaksi
	6	12	0,444	0,352	0,792	Tidak Terjadi Likuifaksi	5,65	0,403	0,466	1,155	Tidak Terjadi Likuifaksi
	7	14	0,446	0,339	0,761	Tidak Terjadi Likuifaksi	6,65	0,432	0,449	1,040	Tidak Terjadi Likuifaksi
	8	-	-	-	-	-	7,65	0,000	0,439	0,952	Tidak Terjadi Likuifaksi
	9	-	-	-	-	-	8,65	0,461	0,429	0,882	Tidak Terjadi Likuifaksi
	10	-	-	-	-	-	9,65	0,000	0,419	0,834	Tidak Terjadi Likuifaksi

Tabel 5.2 Rekapitulasi Perhitungan CPT-01 Sebelum dan Setelah Pemasangan

	Kedalaman	Tanah Asli			Status	Tanah setelah pemasangan			Status
		CSR	CRR	FS		CSR	CRR	FS	
CPT-01	0,2								
	0,4	0,259	0,087	0,336	Likuifaksi	0,259	2,000	7,716	Tidak Terjadi Likuifaksi
	0,6	0,259	0,147	0,569	Likuifaksi	0,259	2,000	7,728	Tidak Terjadi Likuifaksi
	0,8	0,258	0,192	0,742	Likuifaksi	0,258	2,000	7,740	Tidak Terjadi Likuifaksi
	1	0,258	0,273	1,057	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,258	2,000	7,752	Tidak Terjadi Likuifaksi

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Perhitungan CPT-01 Sebelum dan Setelah Pematatan

Kedalaman	Tanah Asli			Status	Tanah setelah pematatan			Status
	CSR	CRR	FS		CSR	CRR	FS	
1,2	0,258	2,000	7,764	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,258	2,000	7,764	Tidak Terjadi Likuifaksi
1,4	0,257	1,316	5,117	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,257	2,000	7,776	Tidak Terjadi Likuifaksi
1,6	0,257	2,000	7,788	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,257	2,000	7,788	Tidak Terjadi Likuifaksi
1,8	0,256	0,431	1,679	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,256	2,000	7,800	Tidak Terjadi Likuifaksi
2	0,256	0,330	1,290	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,256	2,000	7,812	Tidak Terjadi Likuifaksi
2,2	0,256	1,254	4,906	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,256	2,000	7,824	Tidak Terjadi Likuifaksi
2,4	0,255	2,000	7,836	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,255	2,000	7,836	Tidak Terjadi Likuifaksi
2,6	0,255	0,507	1,990	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,255	2,000	7,848	Tidak Terjadi Likuifaksi
2,8	0,254	0,215	0,846	Likuifaksi	0,254	2,000	7,861	Tidak Terjadi Likuifaksi
3	0,254	0,561	2,209	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,254	2,000	7,873	Tidak Terjadi Likuifaksi
3,2	0,254	2,000	7,885	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,254	2,000	7,885	Tidak Terjadi Likuifaksi
3,4	0,266	0,249	0,937	Likuifaksi	0,266	2,000	7,518	Tidak Terjadi Likuifaksi
3,6	0,278	0,212	0,762	Likuifaksi	0,278	2,000	7,202	Tidak Terjadi Likuifaksi
3,8	0,289	0,283	0,979	Likuifaksi	0,289	2,000	6,926	Tidak Terjadi Likuifaksi
4	0,299	0,228	0,764	Likuifaksi	0,299	2,000	6,685	Tidak Terjadi Likuifaksi
4,2	0,309	0,402	1,300	Tidak Terjadi Likuifaksi	0,309	2,000	6,471	Tidak Terjadi Likuifaksi
4,4	0,318	0,255	0,800	Likuifaksi	0,318	2,000	6,281	Tidak Terjadi Likuifaksi
4,6	0,327	0,365	1,116	Tidak Terjadi Likuifaksi				
4,8	0,336	2,000	5,957	Tidak Terjadi Likuifaksi				
5	0,344	0,439	1,277	Tidak Terjadi Likuifaksi				

CPT-01

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan data SPT tanah asli menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai CRR dan CSR di beberapa lapis tanah di setiap titik tinjauan

- memiliki potensi likuifaksi pada kedalaman 2 – 6 meter.
2. Berdasarkan hasil analisis menggunakan data CPT tanah asli menunjukkan bahwa potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman 0,4 – 4,8 meter.
 3. Berdasarkan hasil analisis menggunakan data SPT dan CPT setelah dilakukannya pemadatan menunjukkan bahwa seluruh titik tinjauan didapatkan hasil aman dari potensi likuifaksi. Dan pada seluruh titik tinjauan CPT seluruh titik tinjauan didapatkan hasil aman dari potensi likuifaksi.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil tersebut dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Dengan menggunakan metode analisis berdasarkan nilai uji gradasi butiran, Membandingkan metode berdasarkan nilai uji SPT dan CPT dengan nilai uji penetrasi Becker (BPT) dan kecepatan gelombang geser pengukuran (V_s), dan
2. Terdapat beberapa usaha untuk penanggulangan likuifaksi sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik tanah. Sehingga dapat dikembangkan kembali bagaimana perhitungan ini dapat digunakan di metode perbaikan tanah lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Muntohar, Agus Setyo. 2012. Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.
- Ikhsan, Rifa. 2011. Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Lestari, Rizka Amalia. 2018. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT dan CPT. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Seed, H.B. 1982. *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*,

Earthquake Engineering Research Institute. Pasadena California, USA.

SNI 1726-2012. 2012. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Seed, H.B. and Idriss. 1971. *Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential*, *Journal of soil mechanics, and foundation, Division*, ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.

Tri Hatmoko, John. 2016. *Dinamika Tanah dan Liquefaction*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.