

**ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI
BERDASARKAN DATA PENGUJIAN SONDIR
(STUDI KASUS GOR HAJI AGUS SALIM DAN LAPAI, PADANG)**

Hendri Gusti Putra¹, Abdul Hakam², Dody Lastaruna³

ABSTRAK

Likuifaksi (*liquefaction*) merupakan salah satu bahaya yang ditimbulkan dari gempa bumi. Pada saat gempa terjadi, tanah mengalami perubahan sifat dari solid ke *liquid* akibat beban siklik yang diterima. Untuk itu, diperlukan suatu metode yang mudah dan sederhana untuk mengevaluasi potensi perilaku likuifaksi pada tanah, yang dapat diterapkan di kota Padang dan Sumatera Barat secara umumnya. Salah satunya adalah metode analisa potensi likuifaksi menggunakan data pengujian sondir di lapangan. Metode yang dititik beratkan kepada korelasi data perlawanan konus terhadap *cyclic stress ratio* dalam suatu grafik sederhana (Seed dan Idriss) yang menunjukkan batasan tanah mengalami likuifaksi atau tidak. Grafik dapat menunjukkan variasi nilai kritis uji sondir terhadap potensi likuifaksi telah dikembangkan untuk beberapa variasi terhadap magnitudo gempa dan percepatan maksimum tanah serta pengaruh level muka air tanah. Dari hasil penelitian yang dilakukan, menunjukkan daerah penelitian yaitu GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang, memiliki nilai faktor keamanan yang sangat kecil ($< 0,5$), dibandingkan dengan faktor keamanan yang telah ditetapkan, yaitu 1,50. Hal ini berarti bahwa daerah penelitian memiliki potensi besar terhadap likuifaksi.

Kata Kunci : gempa bumi, likuifaksi, normalisasi perlawanan kerucut, *in-situ test*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumatera Barat khususnya kota Padang, merupakan daerah yang memiliki potensi sangat besar terhadap gempa. Sehingga hal ini menjadi perhatian khusus bagi kita semua. Maka diperlukan suatu penelitian khusus mengenai bahaya gempa ini. Salah satu permasalahan yang ditimbulkan gempa adalah bahaya likuifaksi. Bahaya likuifaksi yang ditimbulkan oleh gempa dan karakteristik tanah tertentu, yang mengakibatkan naik tegangan air pori tanah itu sendiri. Saat likuifaksi berlangsung, kekuatan tanah menurun dan kemampuan deposit tanah untuk menahan beban menurun. Tegangan efektif tanah akibat beban siklik yang diterima tanah dengan karakteristik berbutir, jenuh air dan kepadatan sedang sampai lepas, dimana tanah tersebut mengalami perubahan sifat dari *solid* ke *liquid*. Hal ini menyebabkan kerusakan pada bangunan sipil, seperti keruntuhan. Peristiwa likuifaksi ini telah dibuktikan melalui sejarah yang telah terjadi di dunia, seperti pada gempa di Niagata, Jepang pada tahun 1964.

Melihat potensi yang ditimbulkan oleh likuifaksi saat besar bagi kita, para ahli mulai mengembangkan beberapa metode praktis untuk menganalisa potensi likuifaksi dari tanah. Terdapat beberapa metode analisa likuifaksi yang telah ada, salah satunya adalah metode analisa

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, e-mail: hendrigp@ft.unand.ac.id

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, e-mail: ahakam@ft.unand.ac.id

³ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas

menggunakan data pengujian lapangan, seperti uji sondir (*cone penetration test*), uji standar penetrasi, uji boring dan uji Swedish. Selain itu analisa potensi likuifaksi juga dapat dilakukan berdasarkan uji di laboratorium seperti analisa butiran. Dari sekian banyak metode yang ada, metode menggunakan data uji SPT merupakan metode yang sering digunakan oleh para ahli, seperti Seed dan Idriss (1971), Tatsuoka (1980), Tokimatsu dan Yoshimi (1983). Namun saat ini metode yang cocok digunakan untuk analisa likuifaksi bagi daerah Sumatera Barat adalah metode analisa potensi likuifaksi menggunakan data uji sondir. Hal ini berdasarkan dari kemudahan dalam pelaksanaan dan biaya dari uji sondir. Dan juga uji sondir lebih sering digunakan di Sumatera Barat sebagai investigasi tanah di lapangan.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa stabilitas tanah terhadap likuifaksi. Selain itu juga mendapatkan gambaran kondisi keadaan tanah lokasi penelitian terhadap potensi likuifaksi yang mungkin terjadi berdasarkan gempa Padang Pariaman tanggal 30 September 2009 yang lalu. Selain itu, hasil penelitian dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam kegiatan perencanaan bangunan sipil di kemudian hari.

Diharapkan melalui penelitian ini, dapat dijadikan sebagai referensi untuk menganalisa bahaya likuifaksi yang mungkin terjadi di kota Padang, sehingga diperoleh suatu angka keamanan dan karakteristik tanah yang memiliki potensial terhadap bahayanya likuifaksi. Dan juga diharapkan penelitian ini dapat berguna sebagai sumber pengetahuan bagi masyarakat umum mengenai bahaya likuifaksi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan pembahasan dari penelitian ini adalah :

1. Analisa likuifaksi dibatasi di daerah penelitian yaitu GOR Haji Agus Salim dan Lapai.
2. Analisa dilakukan berdasarkan hasil uji sondir yang didapat di daerah penelitian.
3. Metode perhitungan yang digunakan dalam analisa potensi likuifaksi dengan menggunakan data uji sondir yang telah dikenalkan oleh ahli geoteknik seperti Seed dan Idriss (1971).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Likuifaksi didefinisikan sebagai transformasi material granular dari bentuk solid menjadi cair sebagai akibat dari naiknya tekanan air pori dan kehilangan tegangan efektif (Marcuson, 1978). Naiknya tekanan air pori ini disebabkan oleh kecenderungan dari material berbutir untuk menjadi padat akibat *cyclic shear deformations*.

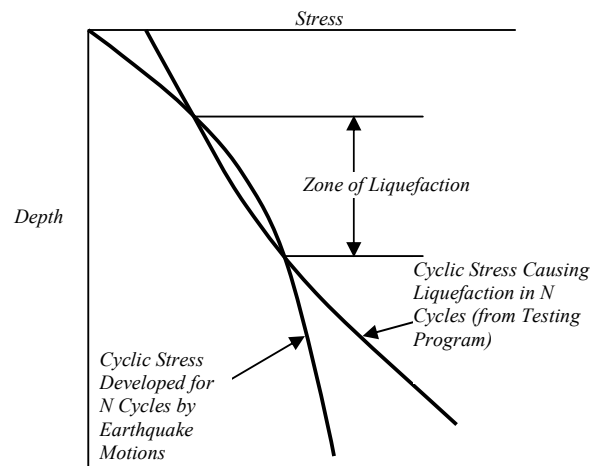
2.2 Evaluasi Likuifaksi dan Masalah yang Ditimbulkannya

Potensi likuifaksi pada suatu deposit tanah akan ditentukan oleh kombinasi beberapa komponen, antara lain :

- a. Indeks properties tanah, seperti modulus dinamis, karakteristik kelembaban, berat volume, gradasi butiran, kepadatan relatif dan struktur tanah itu sendiri.
- b. Faktor lingkungan, seperti jenis formasi tanah, sejarah seismik dan geologi, level muka air tanah dan tegangan efektif tanah.
- c. Karakteristik gempa, seperti intensitas guncangan pada tanah dan lama guncangan yang terjadi.

Dari beberapa faktor yang telah disebutkan di atas, tidak semua dari faktor tersebut dapat ditentukan besarnya secara langsung, akan tetapi dampak yang muncul dari ketiga faktor tersebut dapat digunakan atau dimasukkan kedalam prosedur evaluasi potensial 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. Pada dasarnya, prosedur standar evaluasi likuifaksi, antara lain:

- a. Menentukan besaran tegangan siklik yang muncul akibat pergerakan tanah pada saat gempa bumi, pada setiap kedalaman deposit tanah dan mengkonversi bentuk tegangan yang tidak beraturan tersebut hingga memiliki besaran yang sama dalam bentuk tegangan siklik. Dengan kata lain, intensitas guncangan, lama guncangan dan variasi guncangan yang terjadi akibat tegangan pada setiap kedalaman diubah menjadi suatu besaran yang dapat dihitung. Penentuan besaran tegangan siklik yang terjadi dapat dilakukan dengan cara menganalisa respon tanah terhadap tegangan yang terjadi dengan melibatkan berat sendiri tanah, modulus dinamik dan karakteristik kelembaban.
- b. Menentukan besaran tegangan siklik dengan cara uji pembebanan di laboratorium yang diwakili oleh sampel tak terganggu yang dilakukan dengan variasi tekanan bebas yang telah ditentukan atau dengan cara mengkorelasikan properties tanah dengan karakteristik tanah di lapangan.
- c. Membandingkan antara tegangan geser yang terjadi akibat gempa bumi dengan hal-hal yang dapat menyebabkan terjadinya likuifaksi untuk menentukan apakah deposit tanah berada dalam zona likuifaksi atau tidak, seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 1**.



Gambar 1. Metode Evaluasi Potensi Likuifaksi

Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa perilaku likuifaksi pada tanah bersifat merusak dan menimbulkan dampak negatif yang besar terhadap stabilitas tanah dan bangunan di atasnya. Adapun dampak yang ditimbulkan dari perilaku likuifaksi adalah :

1. Terjadinya penurunan tanah hingga 5 % ketebalan lapisan tanah terlikuifaksi.
2. Terjadinya kehilangan daya dukung lateral tanah.
3. Terjadinya kehilangan daya dukung tanah.
4. Terjadinya pengapungan struktur yang dibanamkan dalam tanah, seperti tanki di bawah tanah.
5. Meningkatkan tekanan lateral tanah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur penahan tekanan lateral tanah, seperti *quay walls*.
6. Terjadinya *lateral spreading (limited lateral movements)*.
7. Terjadinya *lateral flow (extensive lateral movements)*.

2.3 Parameter Likuifaksi

Parameter likuifaksi merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kriteria likuifaksi yang terjadi pada deposit tanah. Dimana dalam hal ini, perilaku likuifaksi pada tanah dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu perlawanan terkoreksi (q_{c1}) dan rasio tegangan siklik (CSR). Perhitungan nilai perlawanan terkoreksi q_{c1} , dirumuskan oleh Seed dan Idriss (1971) sebagai berikut :

$$q_{c1} = C_1 \times q_c = CN q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

dimana :

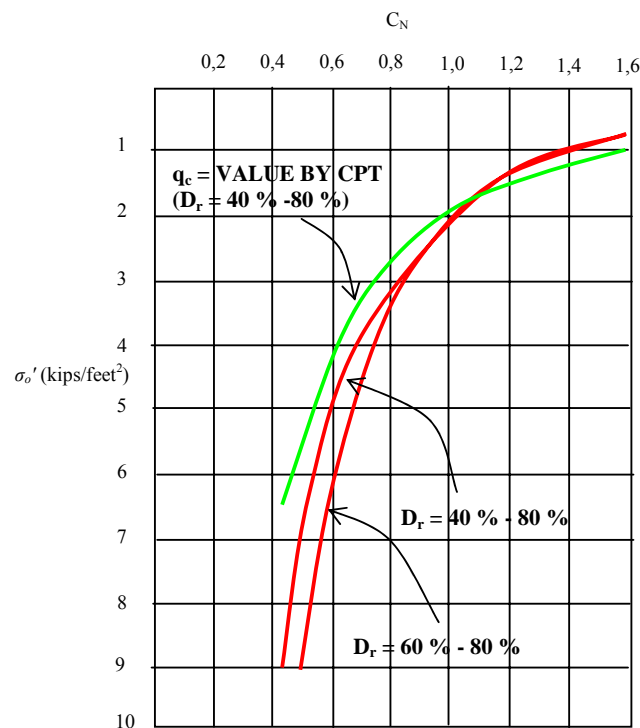
q_{c1} = perlawanan konus tekoreksi

q_c = perlawanan konus

CN = faktor koreksi

Untuk faktor koreksi ditentukan hubungan antara tegangan efektif tanah dan CN pada gambar. Seed dan Idriss (1971) merumuskan persamaan perhitungan nilai CSR tanah, yaitu :

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{\max} \times \sigma_o}{g \times \sigma_o'} \right) \times r_d \quad (2)$$



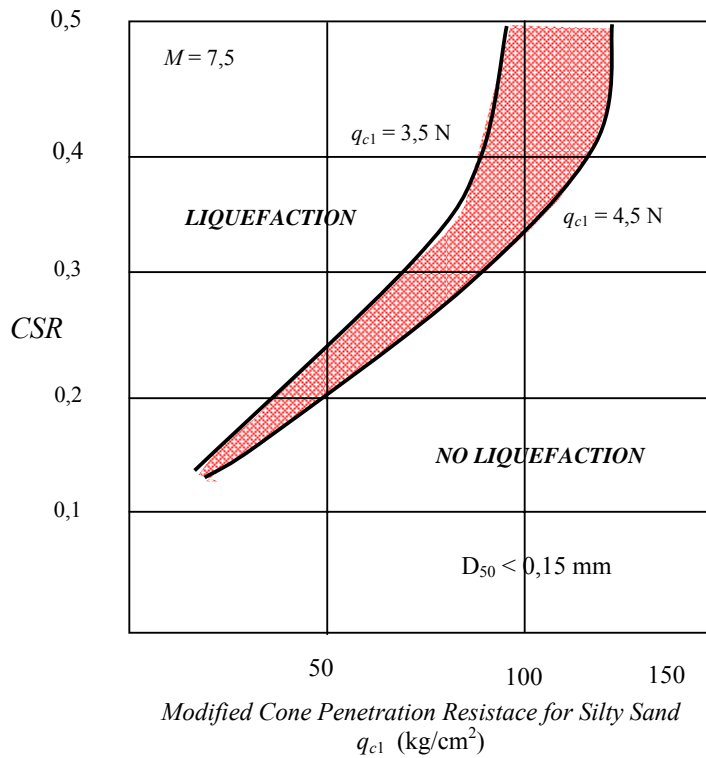
**Gambar 2. Grafik Hubungan CN dan Tegangan Efektif Tanah
(Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes, Seed & Idriss, 1982)**

Dimana r_d merupakan koefisien reduksi tegangan pada suatu kedalaman yang dirumuskan untuk mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR.

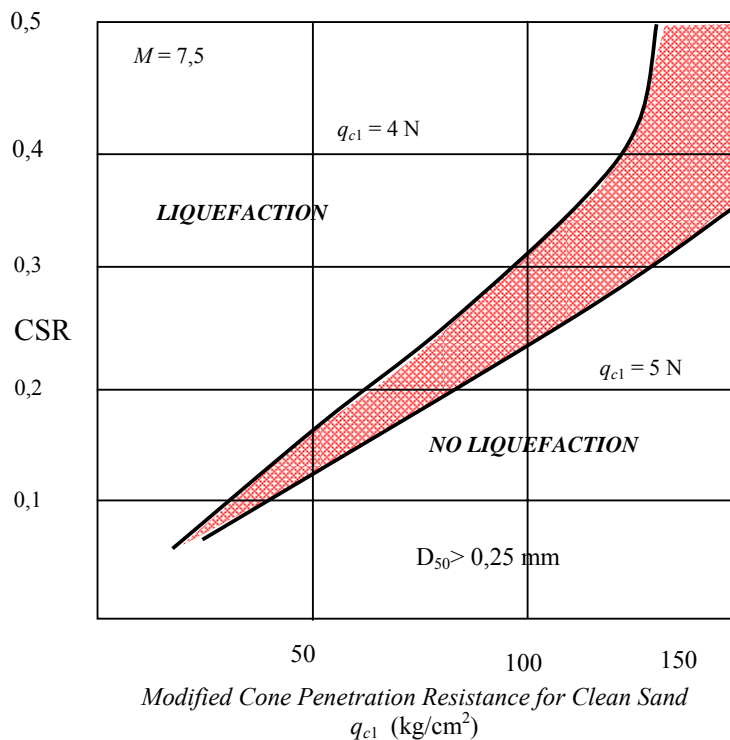
Formulasi untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan (Blake, 1996) yaitu:

$$r_d = \frac{1,0 - 0,4113 z^{1,5} + 0,04052 z + 0,001753 z^{1,5}}{1,0 - 0,4177 z^{0,5} + 0,05729 z - 0,006205 z^{1,5} + 0,00121 z^2} \quad (3)$$

Seed dan Idriss (1971), menentukan potensi likuifaksi berdasarkan grafik pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Grafik tersebut merupakan hubungan antara CSR dan perlawanan konus terkoreksi.

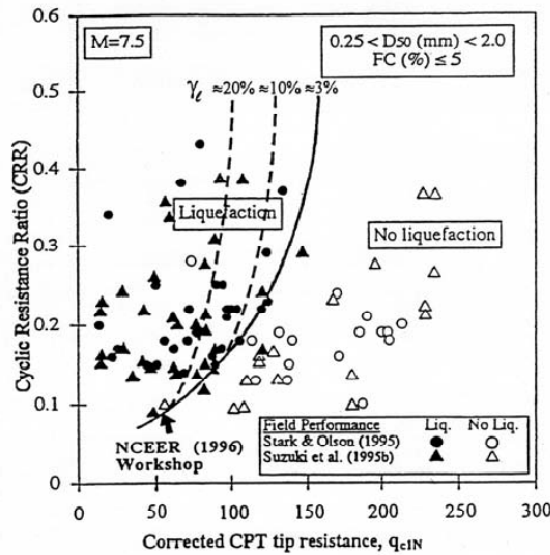


Gambar 3. Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes, Seed & Idriss, 1982*)



Gambar 4. Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes, Seed & Idriss, 1982*)

Selain parameter yang telah disebutkan, dalam melakukan analisa potensi likuifaksi dibutuhkan suatu variabel yang diintrepetasikan dalam sebuah persamaan yang dapat mendefinisikan kapasitas tanah sebagai tahanan likuifaksi. Para ahli menginisiasikan tahanan tanah terhadap likuifaksi dengan simbol *CRR* (*Cyclic Resistance Ratio*). Robertson dan Wride (1998) membuat sebuah rujukan dalam bentuk grafik hubungan *CRR* dengan Nilai q_{c1} terkoreksi pada pasir halus dengan *FC* (*Fine Contents*) $\leq 5\%$ dan grafik ini hanya berlaku untuk magnitudo gempa yang terjadi sebesar 7,5 SR. Grafik hubungan antara *CRR* dan q_{c1} terkoreksi ditunjukkan oleh **Gambar 5**.



Gambar 5. Hubungan q_{c1} dan CSR atau *CRR* terhadap Potensi Likuifaksi (Robertson and Wride, 1998)

Grafik hubungan q_{c1} dan *CRR* atau *CSR* dari Robertson dan Wride (1998) ini didasarkan pada persamaan yang digunakan untuk memperkirakan nilai *CRR* pada tanah, yaitu :

$$\text{Jika, } q_{c1} < 50 \quad \rightarrow \quad CRR_{7,5} = 0,833 (q_{c1}/1000) + 0,05 \quad (4.a)$$

$$\text{Jika, } 50 < q_{c1} < 160 \quad \rightarrow \quad CRR_{7,5} = 93 (q_{c1}/1000)^3 + 0,08 \quad (4.b)$$

Nilai *CRR* tanah ini digunakan untuk menentukan faktor keamanan dari perilaku likuifaksi pada tanah, yaitu dengan cara membandingkan antara *CSR* dengan *CRR* :

$$FS_L = \left(\frac{CSR}{CRR} \right) MSF \quad (5)$$

dimana nilai dari *magnitude scaling factor* (*MSF*), menggunakan persamaan :

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad (6)$$

3. METODOLOGI

3.1 Investigasi Lapangan

Investigasi lapangan dilakukan untuk mengambil data tanah di lapangan, dengan pengujian sondir dan menggunakan standar pengujian ASTM D 3441-86.

Pada penelitian ini, data tanah di lapangan yang dibutuhkan adalah nilai perlawanan konus (q_c) pada kedalaman tertentu dan level muka air tanah (MAT) pada setiap titik pengujian. Data lapangan ini merupakan data primer dibutuhkan untuk melakukan perhitungan dalam menganalisa potensi perilaku likuifaksi pada sedimen tanah. Dalam penelitian ini, uji sondir dilakukan di dua lokasi yaitu GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang, dimana dilakukan 2 (dua) titik pengujian untuk setiap daerah penelitian.

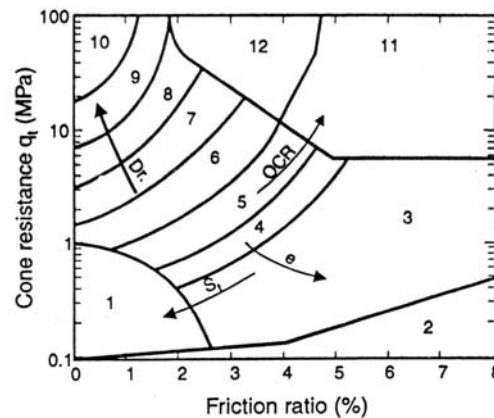
3.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi

3.2.1 Menentukan Jumlah Lapisan dan Penomoran Lapisan

Jumlah dan penomoran lapisan ditentukan berdasarkan bentang kedalaman tertentu, yang bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan analisa dan perhitungan. Dalam penelitian ini, perhitungan dilakukan untuk setiap lapisan dengan rentang data 1 meter kedalaman.

3.2.2 Mengestimasi Berat Volume Tanah

Estimasi berat volume tanah dilakukan dengan menggunakan grafik perilaku tanah berdasarkan data sondir seperti yang ditunjukkan **Gambar 6**, kemudian hasil dari grafik tersebut dikorelasikan ke **Tabel 1** untuk mendapatkan berat volume tanah estimasi berdasarkan zona yang diperoleh.



Gambar 6. Grafik Perilaku Tanah Berdasarkan Data (Robertson et al., 1986)

Tabel 1. Berat Volume Estimasi (Robertson et al., 1986)

<i>The Estimation of Unit Weight Based Soil Description</i>	
<i>Zone</i>	<i>Approximate of Unit Weight (kg/cm³)</i>
1	0,00175
2	0,00125
3	0,00175
4	0,00180
5	0,00180
6	0,00180
7	0,00185
8	0,00190
9	0,00195
10	0,00200
11	0,00250
12	0,00190

3.2.3 Menentukan Tegangan Over Burden Tanah

Tegangan vertikal pada tanah dihitung dengan rumus:

$$\sigma_o = h \times \gamma$$

dimana:

$$\sigma_o = \text{tegangan vertikal tanah (kg/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{kedalaman (m)}$$

$$\gamma = \text{berat volume tanah (kg/m}^3\text{)}$$

3.2.4 Menentukan tegangan efektif tanah

Tegangan efektif vertikal pada tanah dihitung dengan rumus:

$$\sigma_o' = \sigma_o - u = (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w)$$

dimana:

$$\sigma_o' = \text{tekanan efektif tanah (kg/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_o = \text{tekanan total pada tanah (kg/m}^2\text{)}$$

$$u = \text{tekanan air pori (kg/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{kedalaman (m)}$$

$$\gamma = \text{berat volume tanah (kg/m}^3\text{)}$$

$$h_w = \text{kedalaman muka air tanah (m)}$$

$$\gamma_w = \text{berat volume air (kg/m}^3\text{)}$$

3.2.5 Menentukan perlawanan konus terkoreksi (qc1)

Perlawanan konus terkoreksi dihitung berdasarkan persamaan 1.

3.2.6 Menentukan Magnitude dan percepatan tanah maksimum (amax)

Magnitude gempa dan percepatan tanah maksimum digunakan dalam perhitungan *cyclic stress ratio*. Parameter ini diperoleh dari data gempa Padang Pariaman tanggal 30 September 2009, yaitu magnitude 7,6 SR dengan a_{max} sebesar 0,28 g.

3.2.7 Menentukan faktor reduksi tegangan (rd)

Faktor reduksi tegangan dihitung berdasarkan persamaan 3.

3.2.8 Menghitung nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Besarnya nilai *cyclic stress ratio* ditentukan berdasarkan persamaan 2.

4. PELAKSANAAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Pengujian Sondir di Lapangan

Pengujian sondir dilapangan dilakukan pada 7 titik pengujian yang telah ditentukan. Data investigasi lapangan yang diperoleh ditunjukkan oleh **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Nilai q_c dan R_f rata-rata Daerah GOR Haji Agus Salim, Padang

Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	q_c (kg/cm ²)	R_f (%)
I	1	0,0 – 1,0	100	2,50	0,67
	2	1,2 – 2,0	200	3,00	0,56
	3	2,2 – 3,0	300	12,80	0,69
	4	3,2 – 4,0	400	47,60	0,88
	5	4,2 – 5,0	500	45,00	0,14
	6	5,2 – 6,0	600	72,20	0,25
	7	6,2 – 7,0	700	53,60	1,63
	8	7,2 – 8,0	800	54,80	1,96
Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	q_c (kg/cm ²)	R_f (%)
II	1	0,0 – 1,0	100	3,33	1,25
	2	1,2 – 2,0	200	4,00	0,96
	3	2,2 – 3,0	300	4,80	0,89
	4	3,2 – 4,0	400	24,40	1,43
	5	4,2 – 5,0	500	40,00	1,00
	6	5,2 – 6,0	600	52,00	1,10
	7	6,2 – 7,0	700	63,00	0,76
	8	7,2 – 8,0	800	65,00	0,80

Tabel 2. Nilai q_c dan R_f rata-rata Daerah Lapai, Padang

Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	q_c (kg/cm ²)	R_f (%)	Titik	Layer	Depth Range (m)	Depth (cm)	q_c (kg/cm ²)	R_f (%)
I	1	0,0 – 1,0	100	12,17	1,59	II	1	0,0 – 1,0	100	12,83	1,15
	2	1,2 – 2,0	200	8,00	0,87		2	1,2 – 2,0	200	7,40	1,09
	3	2,2 – 3,0	300	1,00	0,00		3	2,2 – 3,0	300	15,00	1,94
	4	3,2 – 4,0	400	26,40	1,16		4	3,2 – 4,0	400	25,60	1,59
	5	4,2 – 5,0	500	53,40	1,45		5	4,2 – 5,0	500	44,20	1,31
	6	5,2 – 6,0	600	60,20	1,27		6	5,2 – 6,0	600	59,00	1,46
	7	6,2 – 7,0	700	37,20	1,61		7	6,2 – 7,0	700	26,40	1,02
	8	7,2 – 8,0	800	23,20	1,64		8	7,2 – 8,0	800	26,80	1,94
	9	8,2 – 9,0	900	32,20	1,76		9	8,2 – 9,0	900	32,40	1,87

4.2 Contoh Perhitungan (GOR Haji Agus Salim, Titik 1)

a). Data

- Nomor lapisan : 1
- Kedalaman lapisan : 100 cm
- GWL (ground water level) : 80 cm
- q_c rata-rata (q_{c1}) : 3,33 kg/cm²
- Berat volume tanah (γ) : 0,00175 kg/cm³
- Magnitudo (M) : 7,6 SR
- a_{max} : 274,68 gal
- Percepatan gravitasi (g) : 980 cm/det²

b). Tegangan Total (σ_o)

$$\begin{aligned} \sigma_o &= h \times \gamma = (100 \text{ cm}) (0,00175 \text{ kg/cm}^3) \\ &= 0,175 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c). Tegangan Efektif (σ_o')

$$\begin{aligned} \sigma_o' &= \sigma_o - u = (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w) = (100 \times 0,00175) - [0,000981 \times (100 - 80)] \\ &= 0,097 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

d). Normalisasi Perlawanan Konus (q_{c1})

$$\begin{aligned} q_{c1} &= CN \times q_c = 1,60 \times 3 \\ &= 5,33 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

e). Reduksi Tegangan Siklik (r_d)

$$\begin{aligned} r_d &= \frac{1,0 - 0,4113z^{1,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1,0 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,00121z^2} \\ &= \frac{1,0 - 0,4113(1)^{1,5} + 0,04052(1) + 0,001753(1)^{1,5}}{1,0 - 0,4177(1)^{0,5} + 0,05729(1) - 0,006205(1)^{1,5} + 0,00121(1)^2} \\ &= 0,994 \end{aligned}$$

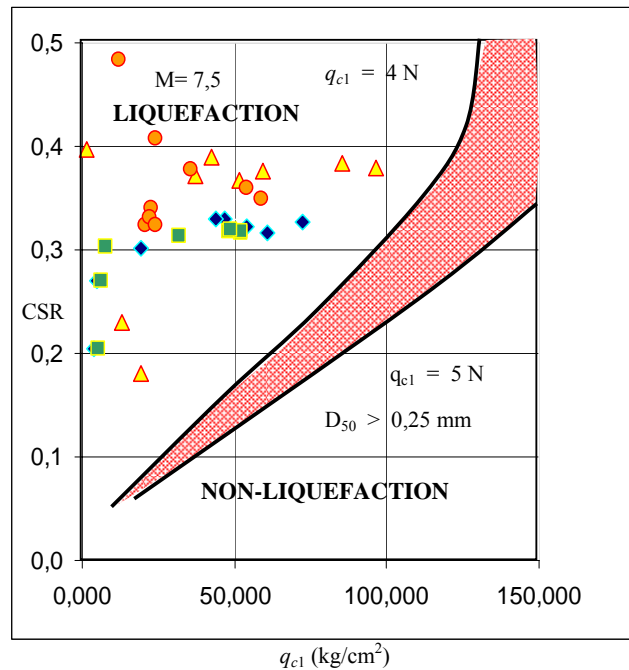
f). *Cyclic Stress Ratio (CSR)* (Seed & Idriss)

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_o}{g \times \sigma_o'} \right) \times r_d = 0,65 \times \left(\frac{274,68 \times 0,175}{980 \times 0,097} \right) \times 0,994 \\ &= 0,328 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Likuifaksi

4.3.1 Menentukan Potensi Likuifaksi berdasarkan Hubungan CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi

Dari hasil perhitungan yang diperoleh, dilanjutkan dengan memplot data hasil perhitungan antara nilai CSR dan nilai perlawanan konus terkoreksi pada **Gambar 4**. Hasil yang diperoleh terlihat seperti pada **Gambar 7**.



Keterangan:

- ◆ GOR Agus Salim titik 1
- ◆ GOR Agus Salim titik 2
- ▲ Lapai titik 1
- Lapai titik 2

Gambar 7. Grafik Hubungan antara CSR dan q_{c1}

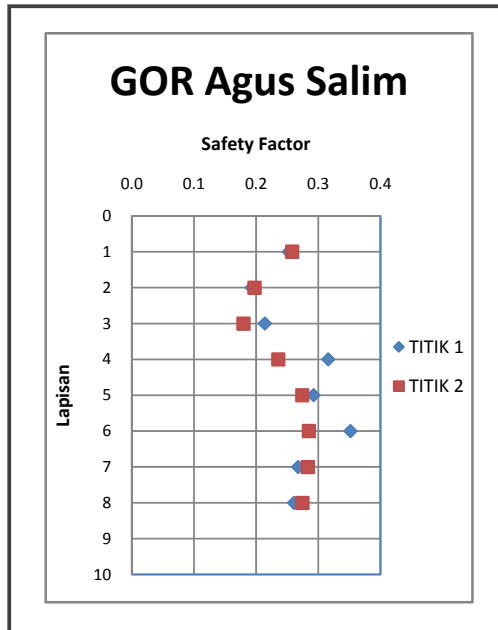
Dari gambar 4.1, terlihat bahwa *cyclic stress ratio* dan perlawanan konus terkoreksi dari tiap kedalaman tinjauan menunjukkan tanah berpotensi terhadap likuifaksi. Hal ini ditunjukkan dengan sebaran titik pada grafik di daerah likuifaksi. Sehingga dapat diambil kesimpulan dari hasil perhitungan potensi likuifaksi dengan tinjauan 2 daerah tersebut dapat dinyatakan terjadi Likuifaksi.

4.3.2 Menghitung Nilai Magnitude Scalling Factor (MSF)

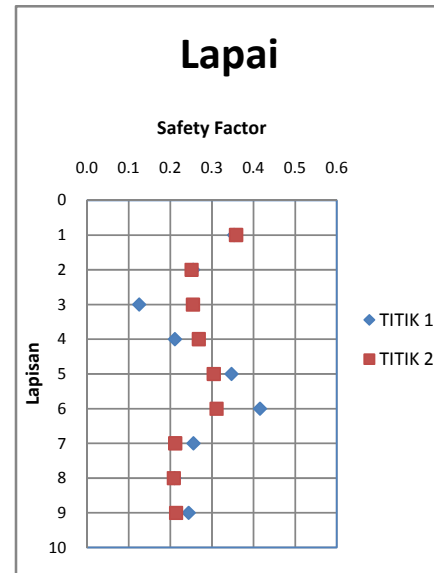
Besarnya nilai *magnitude scalling factor* ditentukan berdasarkan persamaan 6, tergantung dari nilai perlawanan terkoreksinya.

4.3.3 Menghitung Nilai FSL(Safety Factor)

Besarnya nilai FS_L ditentukan berdasarkan persamaan 5. Nilai FS_L yang digunakan untuk menyatakan suatu deposit tanah aman terhadap likuifaksi adalah $\geq 1,50$. Hasil perhitungan nilai FS_L ditunjukkan **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Angka Keamanan vs Lapisan pada Daerah GOR Haji Agus Salim



Gambar 9. Angka Keamanan vs Lapisan pada Daerah Lapai

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data lapangan dan hasil perhitungan yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sedimen tanah di kawasan GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Tipikal tanah pada daerah tersebut secara umum didominasi oleh jenis tanah lanau kepasiran (*sandy silt*) dan pasir berlanau (*silty sand*).
2. Muka air tanah yang dangkal (dari permukaan) sangat mempengaruhi tanah terhadap potensi likuifaksi. Dengan demikian, akan mempercepat naiknya tegangan air pori.
3. Melihat dari hasil perhitungan, daerah yang aman untuk perletakan pondasi diperkirakan pada nilai penetrasi konus $> 100 \text{ kg/cm}^2$.
4. Daerah penelitian memiliki potensi besar terhadap likuifaksi, hal ini ditunjukkan oleh nilai *safety factor* yang kecil dibandingkan dengan nilai aman yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan beberapa hal berikut:

1. Hasil perhitungan yang diperoleh sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya, seperti perhitungan menggunakan data pengujian laboratorium atau pengujian penetrasi standar (SPT).
2. Jumlah titik pengujian sondir diperbanyak dalam melakukan analisa likuifaksi, dengan tujuan agar terdapat data pembandingan antara satu titik pengujian dengan titik lainnya.
3. Sistem pondasi yang digunakan sebaiknya pondasi dalam hingga mencapai kedalaman yang aman terhadap perilaku likuifaksi pada sedimen tanah tersebut.
4. Perbaikan pada daerah likuifaksi dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *deep compaction*, *sand drain* dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Harnaldo, (2008), *Analisa Prilaku Likuifaksi pada Sedimen Tanah Padang Industrial Park (PIP) Berdasarkan Pengujian Sondir*. (Skripsi Sarjana yang tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, 2008).
- Lune, T., Robertson, P.K., and Jhon J.M. Powel, (1997), *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, T.J. International, UK.
- Kramer, Steven.L., *Geotechnical and Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Seed, H. Bolton, (1982), *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*, Earthquake Engineering Research Institute.
- Shibata, Toru and Wanchai Teparaksa, (1988). *Evaluation of Liquefaction Potentials of Soils using Cone Penetration Tests*, Journal of Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, June, 1988, Vol. 28, pp. 49 – 60.
- Youd, T.L. and I.M. Idriss, (2001), *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, April, 2001, Vol. 127, No. 4, pp. 297 – 313.