

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA JEMBATAN LAGUNA MEURAXA KOTA BANDA ACEH

MARWAN ⁽¹⁾ M. ISYA ⁽²⁾ BAHAGIA ⁽³⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email: penulis1@gmail.com

³⁾ Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email: penulis3@yahoo.com

Abstract: *This study aims to evaluate soil liquefaction potential in site when an earthquake shaking. Loss of strength may take place in sandy soils due to an increase in pore pressure. This phenomenon, termed liquefaction, can occur in loose and saturated sands. The increase in pore pressure causes a reduction in the shear strength, which may even be lost completely. Four soil profiles at the location of Laguna Bridge were selected for investigation. The earthquake data which have radius of 300 km from the bridge location were collected from Klimatology and Geofisics Station in Banda Aceh. The liquefaction potential was evaluated by using six methods. Results showed that by using Kishida method (1969) at bore log point 1,2,3, are generally no liquefaction occurred, whereas at bore log point 4 are generally liquefaction occurred. Seed and Idriss method (1971) showed no liquefaction, whereas Valera and Donovan (1977) showed liquefaction occurred. Seed et. al (1976) showed liquefaction only occurred at earthquake magnitude of 8.9 Richter scale, whereas the methods of Whitman (1971) and Castro (1975) are generally no liquefaction occurred.*

Keywords : *liquefaction, earthquake, saturated sand, cyclic.*

Abstrak: Studi potensi likuifaksi bertujuan untuk menganalisis terjadi tidaknya likuifaksi apabila terjadi gempa bumi. Pada suatu lapisan tanah pasir yang jenuh air, getaran-getaran gempa bumi menyebabkan terjadi suatu gejala likuifaksi yang merupakan gejala keruntuhan struktural tanah akibat menerima beban cyclic (berulang). Beban cyclic ini menimbulkan perubahan-perubahan di dalam deposit tanah, berupa peningkatan tekanan air pori sehingga kekuatan geser tanah menjadi berkurang atau hilang (loss strength). Tanah pasir yang kehilangan seluruh kekuatan gesernya akan mencair dan berperilaku seperti fluida. Studi ini dilakukan pada lokasi jembatan Laguna. Struktur lapisan tanah pada lokasi ini berpasir. Berdasarkan data sekunder diperoleh 4 titik bor. Data gempa dalam radius epicenter (R) maksimum 300 kilometer, dan magnitude 5,75 skala Richter dari Banda Aceh diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Geofisika Mata ie Banda Aceh (2010), kemudian percepatan gempa rata-rata di permukaan tanah dianalisis dengan menggunakan persamaan percepatan gempa Donovan (1972), Newmark (1968), dan Kawashumi. Potensi likuifaksi dianalisis menggunakan metoda Kishida (1969), Seed & Idriss (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975) dengan profil bor log, N-SPT dan magnitude gempa. Hasil studi ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan metoda Kishida (1969) pada titik bor 1, titik bor 2 dan titik bor 3 secara umum tidak likuifaksi, sedangkan titik bor 4 secara umum likuifaksi. Metoda Seed & Idriss (1971) memberikan hasil tidak likuifaksi. Metoda Valera & Donovan (1977) secara umum likuifaksi. Metoda Seed et al (1976) memberikan hasil likuifaksi terjadi hanya pada magnitude gempa 8,9 skala Richter di semua titik bor. Sedangkan Metoda Whitman (1971) dan Castro (1975) secara umum tidak likuifaksi.

Kata kunci : likuifaksi, gempa bumi, jenuh air, cyclic.

Berdasarkan program BRR NAD-Nias, sumber dana Hibah *Asian Development Bank (ADB) Earthquake and Tsunami Emergency Support Project (ETESP) Road and Bridge*

Component, Jembatan Laguna merupakan salah satu program Rehabilitasi dan Rekonstruksi NAD-Nias. Lokasi jembatan tersebut berada di Ulee Lheu Meuraxa Kota

Banda Aceh dengan letak geografis pada koordinat $5^{\circ} 33' 26.23''$ LU dan $95^{\circ} 17' 02.99''$ BT.

Data yang dikumpulkan untuk analisis berupa data sekunder yaitu data hasil penyelidikan tanah, profil *boring log* yang dominan pasir dengan hasil tes laboratorium terhadap contoh tanah tak terganggu yang diambil dari lubang bor untuk daerah yang ditinjau dengan muka air tanah tinggi.

Lapisan tanah pasir yang jenuh air dan getaran-getaran gempa bumi berpotensi terjadi suatu gejala likuifaksi yang merupakan gejala keruntuhan struktur tanah akibat menerima beban *cyclic* (berulang). Beban *cyclic* ini menimbulkan perubahan-perubahan didalam deposit tanah yang berupa peningkatan tekanan air pori akibat guncangan, sehingga kuat geser tanah menjadi berkurang atau hilang. Tanah pasir yang telah kehilangan seluruh kekuatan gesernya akan berperilaku seperti *fluida* (cair).

Berdasarkan data yang ada, potensi terjadinya likuifaksi dianalisis dengan menggunakan metoda antara lain Kishida (1969), Seed & Idriss (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975).

Lingkup penulisan yaitu menelaah masalah potensi keruntuhan struktur tanah yang berpasir di bawah bangunan jembatan, karena potensi likuifaksi dengan menggunakan metoda-metoda tersebut diatas. Data yang diperlukan adalah besarnya kepadatan relatif (D_r), nilai tahanan standar

penetrasi (N-SPT) yang terkoreksi, jumlah getaran yang dibutuhkan untuk tercapai likuifaksi, tegangan geser gempa rata-rata, tegangan efektif, magnitude gempa, dan percepatan gempa maksimum.

Metoda studi analisis ini bermanfaat untuk mengetahui terjadi tidaknya likuifaksi pada lapisan tanah yang berpasir jenuh air pada saat terjadi gempa.

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Bagian ini dikemukakan berbagai kutipan dan literatur berkaitan dengan penelitian, yang melibatkan para ahli yang merupakan faktor yang menunjang pemilihan masalah gempa bumi yang memberikan pengaruh besar terhadap struktur serta sifat-sifat mekanis tanah.

Jenis-jenis Pembebanan yang Menyebabkan Likuifaksi

Soelarno et al., 1984 (Marwan, 1993 : 8) likuifaksi dapat didefinisikan bahwa sebagai suatu gejala perubahan sifat tanah dari keadaan *solid* menjadi keadaan *liquid*. Perubahan sifat ini dapat diakibatkan oleh beberapa jenis pembebanan yaitu:

- (a) disebabkan oleh pembebanan *monotonic*, yang biasanya terjadi pada tanah lempung yang mengalami tekanan dari gaya rembesan air atau arus pasang sehingga menimbulkan gejala "*quick clay*", sebagai akibatnya tanah lempung kehilangan kekuatan gesernya yang dikenal dengan nama *static liquefaction*;
- (b) disebabkan oleh pembebanan *cyclic*,

yang biasanya terjadi pada tanah pasir jenuh air yang mengalami getaran gempa sehingga pasir kehilangan daya dukungnya, yang dikenal dengan *cyclic liquefaction*; dan

- (c) disebabkan oleh pembebanan yang bersifat *shock wave*, yang biasanya terjadi pada tanah pasir kering berbutir halus yang mengalami getaran gempa yang bersifat *shock wave* atau getaran dari bom sehingga menimbulkan gejala *fluidization* yang berupa longsor tanah, yang dikenal dengan nama *impact liquefaction*.

Mekanisme Terjadinya Likuifaksi

Mekanisme terjadi likuifaksi memberikan suatu metoda untuk menganalisis masalah peningkatan dan *dissipasi* (keluarnya air pori ke permukaan tanah) dari dalam lapisan horizontal suatu deposit (lapisan) pasir selama dan sesudah berlangsungnya getaran gempa bumi. Untuk menggambarkan besarnya perubahan tekanan air pori yang dapat terjadi di dalam profil tanah sebagai fungsi dari waktu.

Seed at al., 1976 (Marwan, 1993 : 25) mengemukakan bahwa untuk menganalisis potensi likuifaksi diasumsikan selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi *dissipasi* yang berarti, dan atau belum terjadi *redistribusi* tekanan air pori pada masa tanah. Akibat beban *cyclic*, tanah mengalami tekanan dimana air pori juga mengalami tekanan dan belum sempat keluar meninggalkan pori. Hal ini

menyebabkan tekanan air pori meningkat, sebaliknya tegangan efektif berkurang sehingga kekuatan geser juga berkurang.

Seed at al., 1976 (Marwan, 1993 : 40) mengemukakan bahwa perubahan sifat *solid* (padat) ke sifat *liquid* (cair) yang terjadi pada pasir jenuh air diakibatkan oleh peningkatan tekanan air pori dan pengurangan tegangan efektif, tanah pasir jenuh air yang ditinjau pada suatu kedalaman dari permukaan tanah yaitu menggunakan persamaan tegangan efektif dan persamaan kuat geser tanah dari Terzaghi (Hardiyatmo, 2002 : 262) di bawah ini:

$$\sigma' = \sigma - u \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

- σ' : tegangan efektif yang sebenarnya bekerja pada butir tanah (kg/cm²) ;
 σ : tegangan total akibat beban-beban yang bekerja (kg/cm²) ; dan
 u : tekanan air pori (kg/cm²).

Rumus kuat geser (Hardiyatmo, 2002 : 283) didasarkan pada persamaan Morh-Coulomb adalah :

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (2)$$

dimana,

- τ : tahanan geser atau kuat geser tanah (kg/cm²) ;
 c : kohesi (kg/cm²) ; dan
 ϕ : sudut geser dalam sehubungan dengan tegangan efektif (°);
 σ : tegangan total akibat beban-beban yang bekerja (kg/cm²).

Kedua persamaan diatas yaitu bahwa peningkatan tekanan air pori akan mengurangi tegangan efektif, sekaligus mengurangi kekuatan geser tanah bersangkutan. Dapat juga terjadi bahwa $u = \sigma$ sehingga

berdasarkan Persamaan 1 maka $\sigma' = 0$, ini berarti lapisan tanah tersebut hampir dapat dikatakan tidak mempunyai kekuatan geser sama sekali dan berperilaku seperti fluida (cair).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Potensial Likuifaksi

Soelarno (1986 : 16) mengemukakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi potensial likuifaksi pada suatu lapisan tanah pasir adalah sebagai berikut:

- (a.) Sifat butir tanah, pasir yang *uniform* (seragam) lebih mudah likuifaksi dibanding *well graded sand* (pasir yang bergradasi baik), untuk *uniformity* yang sama, butir pasir yang lebih halus akan lebih mudah likuifaksi. Pasir yang mudah likuifaksi adalah pasir yang mempunyai harga D_{10} antara 0,01 – 0,25 mm, antara 0,075 – 2,0 mm, D_{20} antara 0,04 – 0,50

0,50 mm atau 0,004 – 1,20 mm dengan

uniformity coefficient (C_u) antara 2 – 10;

- (b.) Kepadatan relatif (D_r), makin kecil harga

D_r makin berpotensi terjadi likuifaksi; dan

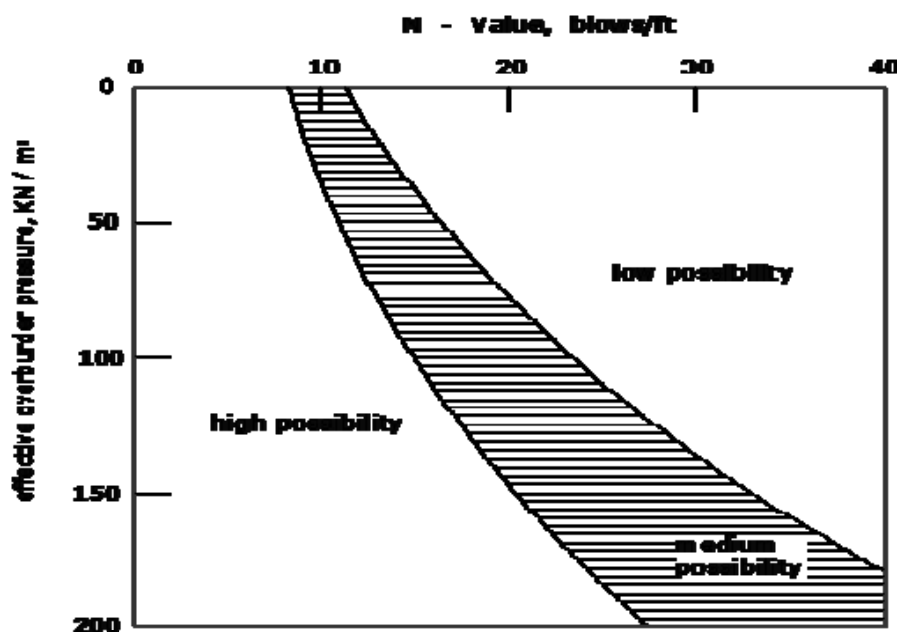
- (c.) Pengaruh kondisi stress mula-mula di lapangan, makin besar harganya makin sulit tanah itu mencair (likuifaksi).

Evaluasi Potensial Likuifaksi

Evaluasi potensial likuifaksi, diuraikan dengan metoda Kishida (1969), Seed & Idris (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al, (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975).

Metoda Kishida (1969)

Kishida 1969 (Marwan 1993 : 14) mengemukakan bahwa suatu grafik yang menyatakan hubungan antara nilai tahanan penetrasi standar (N) dengan nilai tegangan efektif (σ'_{vo}) seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

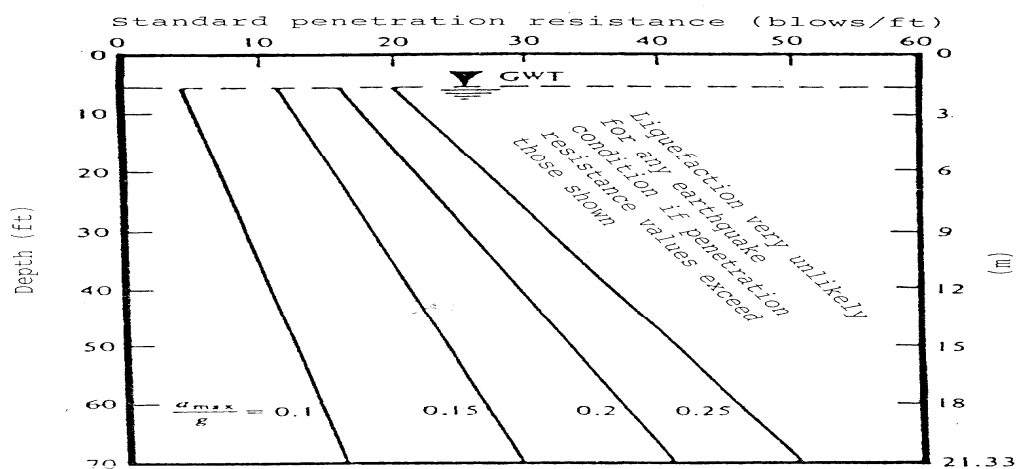


Gambar 1. Probabilitas Likuifaksi dari Pasir yang Jenuh Air
Sumber : Marwan 1993 : 14

Pada Gambar 1 terdapat dua garis lengkung yang merupakan garis batas, dimana sebelah kanan luar garis batas menunjukkan likuifaksi rendah, sebelah kiri luar garis batas menunjukkan likuifaksi tinggi, dan bila berada sebelah dalam antara garis kanan dan kiri menunjukkan likuifaksi sedang.

Metoda Seed & Idriss (1971)

Seed & Idriss, 1971 (Marwan, 1993 :



Gambar 2. Nilai-nilai N-SPT untuk likuifaksi terjadi
Sumber : Marwan 1993 : 16

Metoda Valera dan Donovan (1977)

Metoda Valera dan Donovan, 1977 (Marwan, 1993 : 17) memberikan suatu hubungan antara getaran gempa bumi yang menyebabkan likuifaksi dengan nilai tahanan penetrasi standar dari pasir, yang dihasilkan dari penyelidikan tanah. Untuk memisahkan keadaan tanah pasir yang mengalami likuifaksi dengan yang tidak, ditentukan suatu nilai kritis tahanan penetrasi standar (N_{crit}).

Pasir tertentu cenderung akan mengalami likuifaksi bila nilai tahanan standar penetrasinya (N) lebih kecil dari nilai kritisnya

16) mengemukakan suatu grafik yang menyatakan bahwa hubungan antara nilai tahanan penetrasi standar (N -SPT) dengan kedalaman tanah yang ditinjau seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terdapat garis-garis batas, dimana sebelah kanan garis menunjukkan bahwa batas tidak likuifaksi dan garis sebelah kiri menunjukkan batas likuifaksi terjadi.

(N_{crit}). Besarnya nilai N_{crit} ditentukan dengan persamaan berikut :

$$N_{crit} = \bar{N} (1 + 0,125 (ds - 3) - 0,05 (dw - 2)) \dots (3)$$

dimana,

N_{crit} : nilai kritis dari tahanan penetrasi standar (blows/ft);

$\bar{N}$: suatu nilai tahanan yang tergantung dari intensitas gempa seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1 (blows/ft);

ds : kedalaman lapisan pasir yang ditinjau (m); dan

dw : kedalaman muka air tanah, dihitung dari permukaan (m).

Intensitas *Mercalli* yang dimodifikasi (*Modified Mercalli Intensity*) menggambarkan intensitas gempa bumi yang didasarkan pada hal-hal yang dirasakan oleh manusia dan

kerusakan-kerusakan yang timbul pada struktur bangunan, dinyatakan dalam skala berkisar dari I sampai XI yang dapat ditentukan dengan Tabel 1.

Bila data tanah yang diperlukan tidak cukup tersedia, misal nilai N tidak diambil dari pekerjaan boring di lapangan dan nilai-nilai kepadatan relatif (D_r) tidak tersedia dari hasil tes laboratorium, maka kedua data tersebut dapat ditentukan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Tahanan yang Tergantung dari Intensitas Gempa

Modified Mercalli Intensity	$\bar{N}$ (Blows/ft)
VI	6
VIII	10
IX	16

Sumber : Valera & Donavan, 1977 (Marwan, 1993 : 19)

Tabel 2. Korelasi antara Kepadatan Relatif, N , dan Tahanan Ujung CPT

Kondisi Pasir	Kepadatan Relatif (D_r)	N	Tahanan Ujung Q_c (Mpa)
Sangat Gembur	0 – 0,15	< 4	< 2
Gembur	0,15 – 0,35	4 – 10	2 – 4
Sedang	0,35 – 0,65	10 – 30	4 – 12
Padat	0,65 – 0,85	30 – 50	12 – 20
Sangat Padat	0,85 – 1,00	> 50	> 20

Sumber : Lee et al. (1983 : 121)

Metoda Seed et al. (1976)

Metoda Seed et al, 1976 (Marwan, 1993 : 25) mengemukakan bahwa dalam

menganalisis terjadi tidaknya likuifaksi dengan

Metoda Seed et al. (1976)

Metoda Seed et al, 1976 (Marwan, 1993 : 25) mengemukakan bahwa dalam menganalisis terjadi tidaknya likuifaksi dengan metoda ini perlu diketahui jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai likuifaksi (N_L) dan jumlah *cycle ekuivalen* dari gempa (N_{eq}). Mula-mula dihitung normalisasi nilai *equivalent shear stress* (τ_{eq}) dengan nilai tegangan efektif (σ'_{vo}), menghasilkan *cyclic stress ratio*. Kemudian lapisan pasir dengan kepadatan relatif (D_r) yang berbeda-beda memberikan hubungan antara *cyclic stress ratio* dengan nilai N_L seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Seed et al., 1976 (Soelarno et al., 1984 : 24) juga memberikan suatu persamaan matematis untuk menghitung nilai N_L untuk memudahkan dalam perhitungan dengan persamaan berikut ini:

$$N_L = \left[\frac{0,4697 \cdot D_r \cdot \sigma'_{vo}}{\tau_{eq}} \right]^{5,402} \dots\dots\dots(4)$$

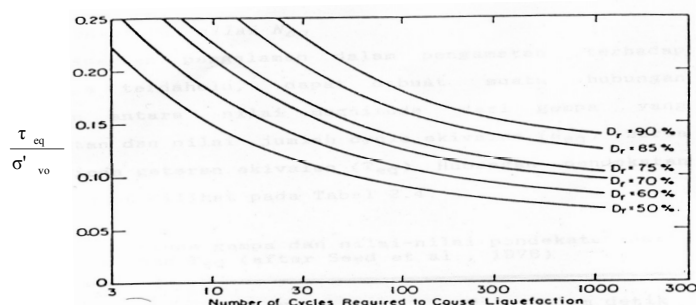
dimana,

N_L : jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan likuifaksi;

D_r : kepadatan relatif ;

σ'_{vo} : tegangan vertikal efektif (kg/cm^2); dan

τ_{eq} = tegangan geser ekuivalen dari gempa (kg/cm^2).



Gambar 3 : Hubungan Antara rasio tegangan siklis dengan N_L , pada nilai Kepadatan relatif yang berbeda-beda
Sumber : Soelarno et al., 1984 : 24

Menurut Seed et al., 1975 (Soelarno et al., 1984 : 19) nilai tegangan geser *siklis* ekuivalen gempa (τ_{eq}) dapat diambil sebesar 65 % dari nilai tegangan geser gempa maksimum (τ_{max}) dan mengusulkan suatu bentuk persamaan untuk menghitung nilai tegangan geser gempa maksimum sebagai berikut:

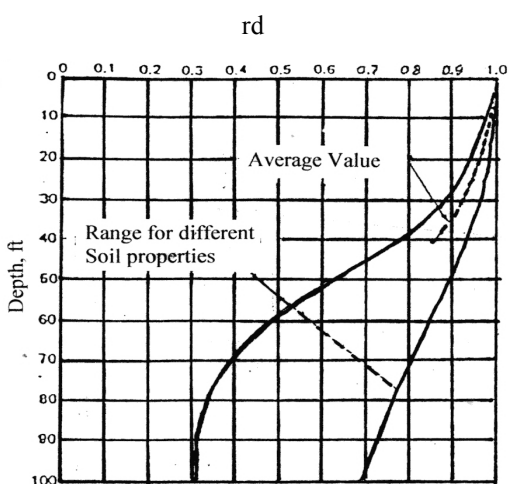
$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{vo}}{g} \cdot a_{max} \cdot rd \quad \dots\dots\dots(5)$$

maka

$$\tau_{eq} = 0,65 \cdot \frac{\sigma_{vo}}{g} \cdot a_{max} \cdot rd \quad \dots\dots\dots(6)$$

dimana,

- τ_{eq} : tegangan geser ekuivalen dari gempa (kg/cm^2);
- g : percepatan gravitasi bumi (cm/det^2);
- τ_{max} : tegangan geser maksimum dari gempa (kg/cm^2);
- σ_{vo} : tegangan total akibat beban yang bekerja pada lapisan deposit (kg/cm^2);
- a_{max} : percepatan gempa maximum di permukaan tanah (gal); dan
- rd : faktor reduksi tegangan sebagai fungsi dari kedalaman, yang dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 4



Gambar 4 : Hubungan nilai reduksi (rd) dan Kedalaman

Sumber : Soelarno et al., 1984 : 19

Berdasarkan pengalaman dalam pengamatan gempa terdahulu, nilai jumlah *cycle ekuivalen* dari gempa (N_{eq}) dan nilai

periode ekuivalen getaran gempa (T_{eq}) dapat ditentukan dengan suatu pendekatan yang dihubungkan dengan nilai *magnitude* gempa yang bersangkutan. Nilai-nilai pendekatan tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Korelasi antara nilai N_{eq} dan *Magnitude* Gempa

Magnitude Gempa (Skala Richter)	N_{eq} (Cycle)	T_{eq} (detik)
5,5 - 6	5	8
6,5	8	14
7	12	20
7,5	20	40
8 - 9	30	60

Sumber : Seed et al., 1976 (Marwan, 1993 : 27)

Kriteria likuifaksi pada lapisan tanah dalam kondisi tak terdrainase terjadi dengan peningkatan tekanan air pori akibat tegangan *siklis* dari gempa ditentukan dengan membandingkan nilai NL (jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan likuifaksi) dengan nilai N_{eq} (jumlah *cycle ekuivalen* dari gempa), kriterianya adalah sebagai berikut:

- a.) Lapisan tanah tersebut telah mengalami likuifaksi sebelum getaran gempa bumi selesai. Terjadi bila nilai $NL < N_{eq}$ dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai likuifaksi adalah $(NL/N_{eq}) \cdot T_{eq}$ satuan waktu, di mana T_{eq} merupakan periode ekuivalen getaran gempa; dan
- b.) Jumlah *cycle* ekuivalen gempa yang ada belum cukup untuk menimbulkan likuifaksi dan ini terjadi bila $NL > N_{eq}$.

Metoda Whitman (1971)

Menganalisis likuifaksi dengan metoda Whitman, 1971 didasarkan pada hasil penyelidikan lapangan pada lapisan tanah

yang pernah mengalami beban gempa. Hasil penyelidikannya menunjukkan bahwa terjadi tidaknya likuifaksi pada suatu lapisan tanah yang mengalami beban gempa dan dipengaruhi oleh nilai *cycle ratio* (τ/σ'_{vo} = perbandingan antara nilai tegangan geser gempa rata-rata akibat gempa dengan nilai tegangan efektif) dan nilai kepadatan relatif (Dr) dari lapisan tanah yang bersangkutan.

Whitman, 1971 (Marwan, 1993 : 17) mengemukakan bahwa suatu nilai kritis yang merupakan hubungan antara nilai *cycle ratio* dengan nilai kepadatan relatif (Dr) berupa garis lengkung yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai tahanan standar penetrasi yang dikoreksi, dapat dinyatakan dengan persamaan yang diberikan oleh Teng, 1962 (Soelarno et al, 1984 : 29) sebagai berikut:

$$N' = \frac{50.N}{\sigma'_{vo} + 10} \dots\dots\dots (7)$$

dimana,

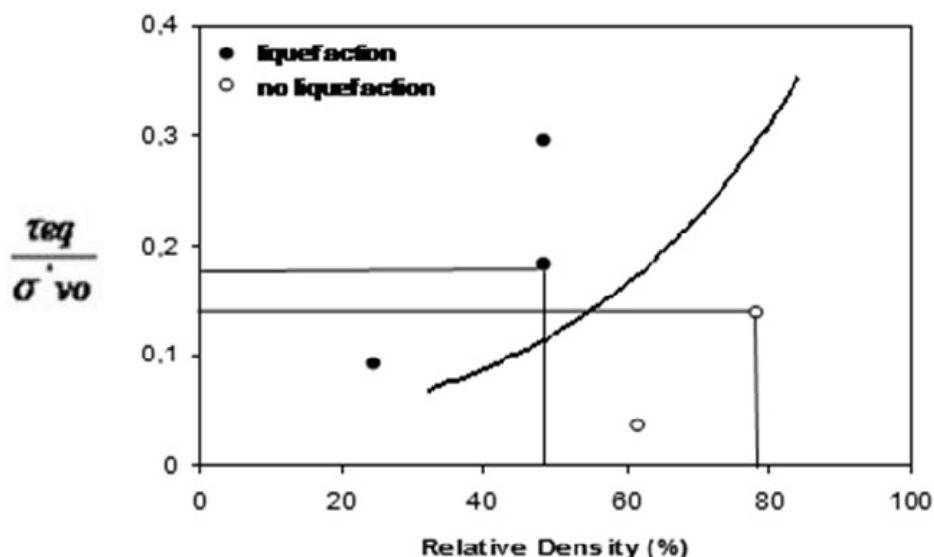
- N' : nilai SPT yang dikoreksi;
- N : nilai SPT yang sebenarnya ; dan
- σ'_{vo} : tegangan vertikal efektif yang nilainya $< 280 \text{ KN/m}^2$.

Nilai tegangan geser gempa rata-rata yang terjadi pada bidang horizontal, oleh Castro dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau'_{av} = 0,7 \cdot \frac{\sigma_{vo}}{g} \cdot a_{max} \cdot rd \dots\dots\dots (8)$$

dimana,

- τ'_{av} : nilai tegangan geser gempa rata-rata (kg/cm^2);
- g : percepatan gravitasi bumi (cm/det^2);
- a_{max} : percepatan gempa maksimum di permukaan tanah (gal);
- σ_{vo} : tegangan total (kg/cm);
- rd : faktor reduksi sebagai tegangan fungsi dari kedalaman, dapat dilihat pada Gambar 4 ;
- 0,7 : faktor konversi terhadap percepatan gempa dan juga tergantung dari magnitude gempa.

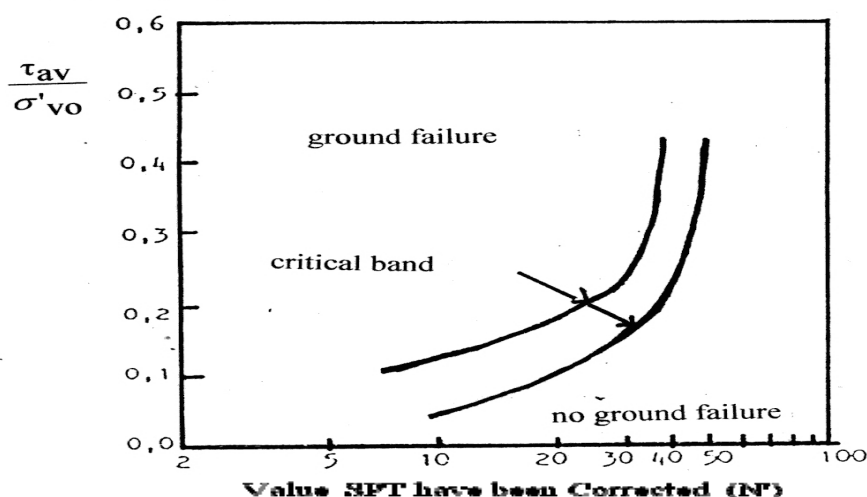


Gambar 5. Interpretasi Data di Lapangan Untuk Analisis Potensi Likuifaksi
Sumber : Whitman, 1971 (Marwan, 1993 : 17)

Metoda Castro (1975)

Menurut Castro, 1975 (Soelarno et al., 1984 : 29) suatu grafik yang menyatakan bahwa hubungan antara N-SPT telah dikoreksi (N') pada kedalaman tanah yang ditinjau dengan nilai rasio tegangan gempa rata-rata (τ_{av}/σ'_{vo}) seperti pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 terdapat dua garis lengkung merupakan garis batas, dimana sebelah kanan garis batas menunjukkan tidak likuifaksi dan sebelah kiri garis batas menunjukkan likuifaksi. Dari gambar juga diketahui nilai N' yang melebihi 50, tidak likuifaksi.



Gambar 6 . Cyclic Stress Ratio vs Nilai SPT yang Terkoreksi
Sumber : Castro, 1975 (Marwan. 1993)

Bila data tanah yang diperlukan tidak cukup tersedia, misal nilai N tidak diambil dari pekerjaan boring di lapangan dan nilai kepadatan relatif (D_r) tidak tersedia dari hasil tes laboratorium maka kedua data tersebut dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.

Hubungan Empiris Parameter Gempa

Soelarno et al., 1983 (Marwan, 1993 : 31) mengemukakan bahwa lamanya getaran bumi dipengaruhi oleh besarnya magnitude gempa karena getaran tersebut akan berlangsung minimal selama terjadinya geseran pada patahan. Percepatan gempa dan magnitude gempa mempunyai hubungan-

hubungan empiris sebagai berikut ini :

- a.) Berdasarkan hasil data percepatan gempa di Amerika Serikat, Jepang dan Papua New Guinea, Donovan menyatakan hubungan tersebut sebagai :

$$a = 1080e^{0.5M} / (d+25)^{1.32} \text{ (Donovan, 1970) ... (9)}$$

$$a = 1320e^{0.58M} / (d+25)^{1.52} \text{ (Donovan, 1972) ... (10)}$$

- b.) Menurut rumus yang dikembangkan oleh Esteva berdasarkan rumus A.J Hendron Jr. (Newmark, 1968), untuk tanah keras adalah :

$$a = 1230e^{0.8M} / (d+25)^2 \text{ (11)}$$

- c.) Menurut rumus Kawashumi hubungan tersebut adalah :

$$\text{Log } a = M - 5,45 - 0,00084(d - 100) + (\log(100/d) * (1/0,43429)) \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

- M : *magnitude* gempa (Skala Richter) ;
 a : percepatan gempa di permukaan tanah (gal) ;
 e : bilangan *logaritma Napier* (2,71828183) ; dan
 d : jarak *hiposentrum* dari sumber gempa (km).

METODOLOGI PENELITIAN

Ada tiga macam likuifaksi akibat pembebanan yaitu likuifaksi akibat beban statis, beban *cyclic*, dan pembebanan yang bersifat *shock wave*. Dari ketiga jenis likuifaksi tersebut, yang diuraikan dalam penulisan ini hanya masalah likuifaksi akibat beban *cyclic* yang disebut likuifaksi saja. Jenis likuifaksi ini dianalisis berdasarkan metoda Kishida (1969), Seed & Idriss (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al, (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975) yang berkenaan dengan likuifaksi pada lapisan tanah pasir.

Pengumpulan Data Sekunder

Pada tiap lapisan tanah yang ditinjau pada penelitian ini terbatas pada titik-titik penempatan jembatan. Data sekunder yang dikumpulkan berupa data hasil pemborongan dan data parameter gempa di lokasi studi kasus.

Data tanah yang digunakan untuk analisis diperoleh dari buku laporan pemborongan, berupa susunan jenis lapisan tanah (*boring log*) dan data hasil tes laboratorium. Data tanah yang tersedia untuk menunjang perhitungan hanya

susunan jenis per-lapisan, elevasi muka air tanah, dan berat volume tanah.

Likuifaksi yang ditinjau pada studi ini adalah likuifaksi yang terjadi akibat pembebanan *cyclic*, dan terjadi pada tanah pasir jenuh air yang mengalami getaran gempa. Ini berarti bahwa lapisan tanah yang mengandung lapisan pasir saja yang ditinjau dengan lapisan pasir tersebut harus berada di bawah muka air tanah. Selanjutnya per lapisan tanah yang ditinjau dipersempit lagi yaitu hanya yang susunan per-lapisan dominan pasir karena per-lapisan ini dapat memberikan peluang yang lebih besar untuk mengalami likuifaksi bila terjadi gempa bumi.

Penentuan Parameter Gempa

Berdasarkan pertimbangan bahwa daerah yang ditinjau masih dipengaruhi oleh *Tektonisme* yang tetap mempengaruhi kestabilan suatu daerah pada saat-saat tertentu, maka besaran *magnitude* gempa tentu harus lebih besar dari besaran yang sebenarnya terjadi di lapangan. Data parameter gempa diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Mata Ie Banda Aceh (2010).

Magnitude gempa (M)

Data *magnitude* gempa dalam jarak *epicenter* (R) maksimum 300 kilometer, dan *magnitude* diatas 5,00 skala Richter dari kota Banda Aceh yang dikumpul 189 data gempa dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun

Geofisika Mata Ie Banda Aceh (2010). Untuk tiap kejadian gempa, data tersebut merupakan nilai besaran (magnitude), letak sumber gempa (koordinat lintang dan bujur pada bola bumi, kedalaman, tanggal, dan tahun kejadian. Penentuan magnitude gempa untuk analisis likuifaksi adalah besaran yang terbesar dari data pencatatan magnitude gempa yang pernah terjadi dan diperhitungkan sebagai magnitude gempa desain.

Percepatan Gempa Maksimum pada Permukaan Tanah (a_{max})

Nilai percepatan gempa maksimum pada permukaan tanah yang digunakan dalam analisis dan diambil nilai terbesar yang pernah terjadi untuk lokasi yang ditinjau. Nilai-nilai percepatan tersebut berdasarkan persamaan-persamaan yang dikembangkan di luar negeri sehingga untuk dipakai di Indonesia masih perlu dikalikan dengan suatu angka koreksi tertentu. Data percepatan gempa maksimum pada permukaan tanah dalam radius (*epicenter*) maksimum 300 kilometer dari Banda Aceh diambil dari Soelarno et al. (1983 : 214).

Penentuan Parameter Tanah

Data tanah yang tersedia untuk titik penempatan Jembatan Laguna yang dipilih adalah :

- a) Susunan per-lapisan tanah (*boring log*) pada korelasi litologi pondasi jembatan yang diperoleh dari PT. Fajar - Perapen Prima Jo. Banda Aceh, diambil dari nomor titik Bor 1, titik Bor 2, titik Bor 3

dan titik Bor 4; dan

- b) Hasil Pengujian Laboratorium.

Data tanah yang belum tersedia dan diperlukan untuk analisis potensi likuifaksi adalah sebagai berikut.

- a. Kepadatan relatif (D_r) tiap lapisan yang ditinjau, ditentukan berdasarkan korelasi antara nilai D_r dengan N-SPT dari Tabel 2; dan
- b. Tegangan efektif (σ'_{vo}) dan tegangan total (σ_{vo}) dari lapisan tanah yang ditinjau, ditentukan menurut cara dalam mekanika tanah.

Penentuan Tegangan Geser Gempa, Jumlah Getaran Gempa dan Jumlah Getaran yang Diperlukan untuk Menyebabkan Likuifaksi

Tegangan geser gempa ekuivalen (τ_{eq}) dan tegangan geser gempa rata-rata (τ_{av}) masing-masing dihitung menurut Persamaan 6 dan Persamaan 8. Nilai standart penetrasi yang dikoreksi dihitung menurut Persamaan 7.

Penentuan Potensi Likuifaksi

Gejala perubahan sifat tanah dari *solid* ke sifat *liquid* disebabkan oleh berbagai jenis pembebanan, yaitu: pembebanan *monotonic*, pembebanan *cyclic* dan pembebanan bersifat *shock wave*. Untuk penelitian ini yang akan diuraikan hanya masalah likuifaksi akibat pembebanan siklis.

Potensi likuifaksi untuk tiap-tiap lapisan atau sub lapisan pasir pada setiap lubang bor dihitung dengan menggunakan metoda Kishida (1969), Seed dan Idris (1971), Valera

dan Donovan (1977) Seed et al, (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975) berdasarkan data tanah dan data gempa yang tersedia seperti telah diuraikan di atas.

PEMBAHASAN

Pembahasan berkenaan dengan perhitungan parameter likuifaksi dan penentuan likuifaksi, yaitu magnitude gempa, percepatan gempa maksimum pada permukaan tanah, tegangan efektif, tegangan total, tegangan equivalen gempa, tegangan geser rata-rata gempa, jumlah getaran equivalen gempa, dan jumlah getaran untuk mencapai likuifaksi, meliputi beberapa potensi likuifaksi berdasarkan perhitungan menggunakan berbagai metoda yang berbeda-beda cara pemakaiannya antara satu sama lainnya.

Magnitude Gempa (M)

Data magnitude gempa diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Mata Ie Banda Aceh (2010), diketahui bahwa magnitude gempa terbesar yang pernah terjadi selama kurun waktu pencatatan 10 tahun (tahun 2000 sampai dengan tahun 2010) adalah 8,9 skala Richter pada tanggal 26 Desember 2004. Nilai magnitude gempa sebesar 8,9 skala Richter ini merupakan nilai terbesar berdasarkan data gempa dalam radius (epicenter) maksimum 300 kilometer dari Banda Aceh. Berdasarkan data magnitude gempa dari literatur tersebut, maka magnitude gempa disain untuk penelitian ini

diambil dengan urutan 5,5 sampai dengan 8,9 skala Richter.

Percepatan Gempa pada Permukaan Tanah (a_{mak})

Soelarno et al. 1983 mempertimbangkan bahwa rumus empiris Donovan (1972) perlu diberi koreksi sebesar 1 sampai dengan 2,5 untuk kondisi Indonesia. Perhitungan untuk studi dalam penelitian ini, nilai percepatan gempa maksimum di permukaan tanah ini dikoreksi dengan faktor 2,5 untuk mendapatkan nilai yang paling aman.

Tegangan Efektif (σ'_{vo}) dan Tegangan Total (σ_{vo})

Data berat volume tanah (γ) dan kedalaman tanah yang ditinjau, dapat ditentukan tegangan vertikal, tegangan total atau tegangan efektif. Kedalaman dan ketebalan lapisan yang ditinjau diketahui dari gambar susunan perlapisan tanah (*bor log*). Untuk tegangan total dipakai γ_{sat} disesuaikan dengan data masing-masing titik bor yang ditinjau, untuk tegangan efektif dipakai γ' yang disesuaikan dengan data masing-masing titik bor yang ditinjau. Kedua nilai tegangan ini ditentukan menurut cara yang digunakan dalam mekanika tanah, dan dipakai nilai tegangan efektif tanah dan tegangan total.

Nilai Tahanan Standar Penetrasi (N SPT)

Nilai tahanan standar penetrasi (N-SPT) telah tersedia dari hasil pekerjaan pengeboran

di lapangan.

Nilai Tahanan Standar Penetrasi yang Telah Dikoreksi (N')

Nilai tahanan standar penetrasi (N -SPT) tersedia dari hasil pekerjaan pengeboran di lapangan. Dengan mengetahui N -SPT dan besarnya tegangan efektif maka nilai standar penetrasi yang dikoreksi (N') dapat dihitung dengan Persamaan 7.

Tegangan Geser Ekuivalen Akibat Gempa (τ_{eq}) dan Tegangan Geser Rata-rata Akibat Gempa (τ_{av})

Data percepatan gempa maksimum pada permukaan tanah, tegangan total, dan adanya faktor reduksi (rd) didapat dari Gambar 2 (Seed & Idriss, 1971), besarnya nilai tegangan geser ekuivalen akibat gempa (τ_{eq}) dan tegangan geser rata-rata akibat gempa (τ_{av}) masing-masing dihitung dengan Persamaan 6 dan Persamaan 8. Hasil perhitungan nilai tegangan geser ekuivalen akibat gempa (τ_{eq}) dan tegangan geser rata-rata akibat gempa (τ_{av}).

Jumlah Getaran Ekuivalen Akibat Gempa (N_{eq})

Besarnya nilai getaran ekuivalen akibat gempa (N_{eq}) ditentukan dengan suatu pendekatan yang dihubungkan dengan nilai magnitude dari gempa yang bersangkutan sesuai dengan korelasi kedua besaran tersebut pada Tabel 3 (Seed et al., 1976). Nilai getaran ekuivalen akibat gempa (N_{eq}) untuk semua lubang bor diperlihatkan pada Tabel 3.

Jumlah Getaran yang Dibutuhkan untuk Mencapai Likuifaksi (NL)

Dengan adanya nilai kepadatan relatif (Dr) yang dikorelasi dengan nilai tahanan ujung (q_c), nilai standar penetrasi (N) dari Tabel 2 dan tegangan efektif (σ'_{vo}) serta tegangan geser ekuivalen gempa (τ_{eq}) maka jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai likuifaksi (NL) dihitung menggunakan Persamaan 4.

Nilai Tahanan Penetrasi Kritis (N_{crit})

Dengan mengetahui nilai tahanan yang tergantung dari intensitas gempa (N) dan kedalaman lapisan yang ditinjau maka untuk mendapatkan N_{crit} dapat digunakan Persamaan 3. Nilai $\bar{N}$ diperoleh sebagai fungsi dari *Modified Mercalli Intensity* yaitu suatu skala dari I sampai XI yang menggambarkan Intensitas gempa bumi berdasarkan hal-hal yang dirasakan oleh manusia dan berdasarkan tingkat kerusakan yang dialami oleh struktur bangunan.

Hasil Perhitungan Likuifaksi Pada Lapisan Tanah yang Ditinjau

Potensi terjadinya likuifaksi untuk tiap-tiap lapisan atau sub-lapisan dengan menggunakan data tanah dan data gempa pada setiap lubang bor yang dipilih ditentukan berdasarkan metoda yang diusulkan oleh Kishida (1969), Seed & Idriss (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al. (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975).

Perhitungan dengan metoda Kishida (1969)

Kriteria dalam menentukan potensi terjadinya likuifaksi pada metoda Kishida (1969) ini, adalah dengan memasukkan nilai tahanan standar penetrasi (N SPT) dengan nilai tegangan efektif (σ'_{vo}) ke dalam Gambar 1 yang memuat dua garis lengkung .

a. Bila titik yang dihasilkan berada di sebelah kanan luar garis batas menunjukkan likuifaksi berpotensi rendah (Low possibility);

b. Bila titik yang dihasilkan berada di sebelah kiri luar garis batas menunjukkan likuifaksi berpotensi tinggi (High possibility); dan

c. Bila titik yang dihasilkan berada sebelah dalam antara garis kanan dan kiri menunjukkan likuifaksi berpotensi Medium possibility (likuifaksi sedang).

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan metoda Kishida (1969) diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Menggunakan Metoda Kishida (1969)

No	h (m)	No Bor	N SPT (blows/ft)	σ'_{vo} (KN/m ²)	Potensi Likuifaksi	No Bor	N SPT (blows/ft)	σ'_{vo} (KN/m ²)	Potensi Likuifaksi
1	3,00	1	25	24,925	TL	2	11	25,970	L
2	9,00	1	39	47,524	TL	2	32	79,414	TL
3	15,00	1	39	139,352	TL	2	34	140,523	TL
4	21,00	1	48	180,398	TL	2	41	155,747	TL
5	27,00	1	50	145,197	TL	2	50	154,668	TL
1	3,00	3	19	15,931	TL	4	9	28,104	L
2	9,00	3	22	70,747	TL	4	28	51,326	TL
3	15,00	3	43	175,573	TL	4	10	128,857	L
4	21,00	3	37	135,459	TL	4	8	113,910	L
5	27,00	3	50	554,880	L	4	30	215,564	L

Keterangan : L = Likuifaksi
TL = Tidak Likuifaksi

Perhitungan dengan metoda Seed & Idriss (1971)

Kriteria dalam menentukan potensi terjadinya likuifaksi pada metoda Seed & Idriss (1971) ini adalah dengan

memasukkan nilai tahanan standart penetrasi (N SPT) pada kedalaman tanah yang ditinjau (ds) kedalam Gambar 2 yang memuat garis-garis batas.

a. Bila titik yang dihasilkan berada sebelah kanan garis batas menunjukkan likuifaksi tidak berpotensi (tidak

terjadi); dan
b. Bila titik yang dihasilkan berada sebelah kiri garis batas menunjukkan likuifaksi berpotensi (terjadi).

Hasil perhitungan potensi likuifaksi dengan menggunakan metoda Seed & Idriss (1971) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode

No	M	h	Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan a_{mak}											
			Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi
	(SR)	(m)	Bor No. 1			Bor No. 2			Bor No. 3			Bor No. 4		
1	5,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
2	6,50	09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
3	7,50	15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
4	8,20	21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
5	8,90	27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL

Perhitungan dengan metoda Valera & Donovan (1977).

Kriteria dalam menentukan potensi terjadi tidaknya likuifaksi pada metoda Valera & Donovan (1977) adalah dengan membandingkan nilai tahanan standart penetrasi (N_{SPT}) dengan nilai kritisnya (N_{crit}).

a) Bila $N < N_{crit}$ berarti lapisan pasir yang ditinjau berpotensi likuifaksi; dan

b) Bila $N > N_{crit}$ berarti lapisan pasir yang ditinjau tidak berpotensi tidak likuifaksi.

Nilai N_{crit} ditentukan dengan Persamaan 3.

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan metoda Valera & Donovan (1977) diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman Hasil Menggunakan Metoda Valera & Donovan (1977)

No	M	h	Bor No.			
	(SR)	(m)	1	2	3	4
1	5,50	03,00	TL	L	TL	L
2	6,50	09,00	TL	L	TL	L
3	7,50	15,00	L	L	L	L
4	8,20	21,00	L	L	L	L
5	8,90	27,00	L	L	L	L

Perhitungan dengan metoda Seed et al., (1976)

Kriteria yang digunakan dalam metoda ini untuk menganalisis potensi terjadinya likuifaksi, yaitu dengan membandingkan nilai jumlah getaran ekuivalen akibat gempa (N_{eq}) dengan nilai jumlah getaran yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan likuifaksi (NL).

- (a) Bila $N_{eq} < NL$, maka likuifaksi tidak terjadi; dan
- (b) Bila $N_{eq} > NL$, maka likuifaksi berpotensi terjadi.

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi menggunakan metoda Seed et al., (1976) diperlihatkan pada Tabel 7.

Perhitungan dengan metoda Whitman, (1971)

Kriteria dalam menentukan potensi terjadi tidaknya likuifaksi pada metoda ini, adalah dengan memasukkan nilai kepadatan relatif (D_r) dan nilai *cyclic ratio* yaitu τ/σ'_{vo} = perbandingan antara nilai tegangan geser gempa rata-rata akibat gempa dengan nilai tegangan efektif, kedalam gambar yang memuat garis lengkung kritis dapat dilihat pada Gambar 5.

- a) Bila titik yang dihasilkan berada di bawah garis lengkung kritis, maka tidak likuifaksi; dan
- b) Bila titik yang dihasilkan berada di atas garis lengkung kritis, maka likuifaksi terjadi.

Adapun cara menentukan nilai *cyclic shear stress* rata-rata (τ_{eq}) adalah sama

dengan cara yang digunakan pada metoda Seed et al., 1976 dalam menentukan nilai *ekivalen cyclic shear stress*, yaitu Persamaan 6.

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan metoda Whitman (1971) diperlihatkan pada Tabel 8.

Perhitungan dengan metoda Castro, (1975)

Kriteria dalam menentukan analisis potensi likuifaksi pada metoda ini, adalah dengan memasukan nilai tahanan standar penetrasi yang telah dikoreksi (N') dan nilai *cyclic ratio* (τ/σ'_{vo}) ke dalam gambar yang memuat garis lengkung kritis yang dapat dilihat pada Gambar 6.

- a. Bila titik yang dihasilkan berada di sebelah kanan dari garis lengkung kritis, maka likuifaksi tidak berpotensi terjadi; dan
- b. Bila titik yang dihasilkan berada di sebelah kiri dari garis lengkung kritis, maka likuifaksi berpotensi terjadi.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam metoda ini:

- a) Untuk menentukan nilai N' digunakan Persamaan 7; dan
- b) untuk menentukan nilai tegangan geser rata-rata (τ'_{av}) digunakan Persamaan 8.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam metoda ini:

- a. Untuk menentukan nilai N' digunakan Persamaan 7; dan
- b. Untuk menentukan nilai tegangan geser rata-rata (τ'_{av}) digunakan Persamaan 8.

Hasil perhitungan analisis potensi Castro (1975) dapat diperlihatkan pada Tabel 9. likuifaksi dengan menggunakan metoda

Tabel 7. Hasil menggunakan metode Seed et al.

No	M	h	Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan a_{mak}											
			Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi
	(SR)	(m)	Bor No. 1			Bor No. 2			Bor No. 3			Bor No. 4		
1	5,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
2		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
3		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
4		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
5		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
6	6,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
7		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
8		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
9		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
10		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
11	7,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
12		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
13		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
14		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
15		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
16	8,20	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
17		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
18		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
19		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
20		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
21	8,90	03,00	L	TL	L	L	TL	L	L	TL	L	L	TL	L
22		09,00	TL	TL	L	L	TL	L	L	TL	L	L	TL	L
23		15,00	L	TL	L	L	TL	L	L	TL	L	L	TL	L
24		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	L	TL	TL	L	L	TL	L
25		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	L

Tabel 8. Hasil Menggunakan Metode

No	M (SR)	h (m)	Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan a_{mak}											
			Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi
			Bor No. 1			Bor No. 2			Bor No. 3			Bor No. 4		
1	5,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
2		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
3		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
4		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
5		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
6	6,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
7		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
8		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
9		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
10		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
11	7,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
12		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
13		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
14		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
15		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
16	8,20	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
17		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
18		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
19		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
20		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
21	8,90	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
22		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
23		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
24		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
25		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL

Tabel 9. Hasil menggunakan metoda

No	M	h	Analisis Potensi Likuifaksi Berdasarkan a_{mak}											
			Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi	Donovan	Newmark	Kawashumi
	(SR)	(m)	Bor No. 1			Bor No. 2			Bor No. 3			Bor No. 4		
1	5,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
2		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
3		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
4		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
5		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
6	6,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
7		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
8		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
9		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
10		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
11	7,50	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
12		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
13		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
14		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
15		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
16	8,20	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
17		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
18		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
19		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
20		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
21	8,90	03,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
22		09,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
23		15,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
24		21,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
25		27,00	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL

PEMBAHASAN

Dalam bagian ini dibahas beberapa analisis likuifaksi yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan enam metoda yang berbeda-beda cara pemakaiannya. Likuifaksi yang ditinjau dalam analisis ini adalah likuifaksi yang terjadi akibat pembebanan beban berulang (*cyclic*), yaitu pada tanah pasir yang jenuh air yang mengalami getaran gempa. Ini berarti bahwa lapisan tanah yang mengandung lapisan pasir saja yang ditinjau, dimana lapisan pasir tersebut harus berada di bawah muka air tanah. Hasilnya menunjukkan adanya persamaan dan perbedaan, kesemuanya tergantung dari masing-masing metoda dan variabel yang digunakan.

Berdasarkan hasil perhitungan potensi likuifaksi, dengan menggunakan metoda Kishida (1969), Seed & Idriss (1971), Valera & Donovan (1977), Seed et al (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975), maka dapat diketahui bahwa metoda Kishida (1969) memberikan hasil bervariasi. Pada titik bor 1 tidak terjadi likuifaksi. Pada titik bor 2 dan 3 secara umum juga tidak terjadi likuifaksi kecuali pada bor 2 lapis pada kedalaman 3 m dan bor 3 lapis kedalaman 27 m terjadi likuifaksi. Sebaliknya, pada titik bor 4. Secara umum terjadi likuifaksi kecuali di lapisan kedalaman 9 m tidak terjadi likuifaksi. Menurut Metoda Seed et al (1976), Whitman (1971), dan Castro (1975), memberikan hasil yaitu secara umum likuifaksi tidak terjadi. Sedangkan menurut Seed et al (1976), likuifaksi terjadi secara umum pada gempa

dengan 8,9 SR yang dihitung dengan metoda selain Newmark.

Metoda Seed & Idriss (1971) dalam menganalisis potensi likuifaksi dengan metoda ini ditemui kesulitan yaitu harus memperhitungkan besarnya tegangan-tegangan vertikal yang bekerja pada masing-masing lapisan tanah yang ditinjau, serta menghitung besarnya percepatan gempa maksimum dan magnitude gempa, atau dengan kata lain membutuhkan data tanah yang lebih lengkap.

Metoda Valera & Donovan (1977) memperhitungkan nilai Intensitas gempa dan letak muka air tanah, metoda ini dapat langsung digunakan di lapangan, cukup dengan memperhitungkan gempa bumi yang terjadi dan memiliki nilai *Modified Mercalli Intensity* pada skala tertentu sedangkan nilai tahanan standar penetrasi (N SPT), kedalaman muka air tanah dan kedalaman lapisan yang ditinjau dapat langsung ditentukan berdasarkan perhitungan di lapangan. Metoda Valera & Donovan ini merupakan metoda yang sangat praktis, langkah perhitungannya sangat singkat, dan hasilnya cepat didapat (memberikan hasil secara kasar) artinya metoda ini juga mempunyai kekurangan-kekurangan yaitu tidak memperhitungkan atau memperhatikan sifat-sifat dari lapisan tanah pasir yang bersangkutan secara lengkap. Dalam metoda ini, berat volume tanah (γ), kepadatan relatif (D_r), tegangan efektif (σ'_{vo}), dan tegangan total (σ_{vo}) tidak diperhitungkan sama sekali.

Metoda Seed et al., (1976) hasilnya

cenderung relatif sama dengan metoda Whitman (1971) yaitu sangat tergantung dari nilai *cycle stress ratio*, yaitu hubungan perbandingan nilai tegangan geser ekuivalen dari gempa (τ_{eq}) dengan tegangan vertikal efektif (σ'_{vo}) dan nilai kepadatan relatif (Dr) yang berbeda-beda.

Metoda Castro (1975) merupakan hubungan antara nilai tegangan geser rata-rata dari gempa (τ_{av}) dengan tegangan vertikal efektif (σ'_{vo}) dan nilai tahanan standar penetrasi yang dikoreksi (N'). Nilai tahanan standar penetrasi yang dikoreksi (N') yang lebih besar dari 50 blow/ft tidak berpotensi likuifaksi.

Analisis potensi likuifaksi ini dengan pengambilan magnitude gempa (5,5), (6,5), (7,5), (8,2) dan (8,9) skala Richter akan memberikan hasil yang bervariasi. Penelitian ini membandingkan potensi likuifaksi dengan bervariasi magnitude gempa, sedangkan pengambilan besarnya nilai percepatan gempa maksimum di permukaan tanah sangat tergantung pada magnitude gempa dan jarak pusat gempa dengan lokasi yang ditinjau. Hal ini sesuai dengan hubungan empiris parameter gempa Donovan (1972), Newmark (1968), dan Kawashumi.

Dari hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi lapisan tanah pada pembangunan jembatan Laguna Ulee Lheue Meuraxa Kota Banda Aceh dengan menggunakan metoda Seed & Idriss (1971), Seed et al (1976), Whitman (1971) dan Castro (1975) dapat diambil kesimpulan bahwa secara umum likuifaksi tidak terjadi, sedangkan dengan

menggunakan metoda Kishida (1969) dan Valera & Donovan (1977) secara umum likuifaksi terjadi.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Dengan menggunakan enam metoda dalam perhitungan analisis potensi likuifaksi dapat diprediksi bahwa pada umumnya titik bor yang ditinjau mengalami likuifaksi pada lapisan yang nilai N SPT kecil;
2. Hasil analisis likuifaksi menggunakan metoda Kishida (1969), diketahui yaitu pada titik bor 1, 2 dan 3 secara umum tidak likuifaksi, yang terjadi likuifaksi pada titik bor 2 lapisan 3 meter dan titik bor 3 lapisan 27 meter, sedang titik bor 4 hampir semua lapisan terjadi likuifaksi kecuali yang tidak likuifaksi pada lapisan 9 meter;
3. Hasil analisis likuifaksi dengan menggunakan metoda Seed & Idriss (1971), memberikan hasil yang relatif sama yaitu likuifaksi tidak terjadi;
4. Hasil perhitungan analisis dengan menggunakan metoda Valera & Donovan (1977), secara umum terjadi likuifaksi pada semua lapisan;
5. Hasil analisis likuifaksi dengan menggunakan metoda Seed et al., (1976), memberikan hasil secara umum tidak likuifaksi kecuali yang terjadi likuifaksi hanya pada lapisan 3 meter dan 9 meter dengan magnitude gempa 8,9 skala Richter pada setiap titik bor terjadi

likuifaksi;

6. Hasil analisis likuifaksi dengan menggunakan metoda Whitman (1971) memberikan hasil secara keseluruhan tidak likuifaksi, ini dikarenakan potensi likuifaksi dengan metoda ini sangat tergantung pada besarnya magnitude gempa dan nilai kepadatan relatif (Dr).
7. Hasil analisis likuifaksi dengan menggunakan metoda Castro (1975) memberikan hasil secara keseluruhan tidak likuifaksi; dan
8. Dari hasil analisis keenam metoda yang digunakan, untuk mendapatkan hasil perhitungan yang aman terhadap potensi likuifaksi, maka dapat disimpulkan, bahwa hasil perhitungan metoda Kishida (1969) dan Metoda Valera & Donovan (1977) menjadi kesimpulan hasil akhir mengingat kedua metoda ini secara umum terjadi likuifaksi.

Saran

1. Hasil perhitungan analisis dengan menggunakan metoda Kishida (1969) dan Valera & Donovan (1977), secara umum kedua metoda ini lebih banyak ditemukan adanya likuifaksi;
2. Data hasil penyelidikan tanah disarankan menggunakan data yang hasil pengujiaanya lebih lengkap, sehingga dalam analisis akan mendapatkan hasil yang lebih akurat;
3. Percepatan gempa maksimum pada permukaan tanah (a_{max}) dalam perhitungan analisis likuifaksi sebaiknya

dilakukan pengujian di laboratorium untuk menentukan nilai kepadatan relatif (Dr), dan terlebih dahulu dihitung besarnya tegangan-tegangan vertikal yang bekerja pada masing-masing lapisan tanah pasir yang ditinjau. Sehingga dalam analisis akan menghasilkan hasil yang lebih akurat, dengan kata lain analisis potensi likuifaksi membutuhkan data-data tanah yang lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2007, *Laporan Hasil Pemboringan*, PT. Fajar – Perapen Jo, Banda Aceh;
- Anonim, 2010, *Data Gempa Bumi Skala ≥ 5 SR*, BMKG Stasiun Geofisika, Mata ie Banda Aceh;
- Hardiyatmo, H. C., 2002, *Mekanika Tanah I*, Penerbit Gajah Mada University Press, Yokyakarta;
- Hardiyatmo, H. C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Penerbit Gajah Mada University Press, Yokyakarta;
- Lee, I.K., White, W., and Ingles, O.G., 1983, *Geotechnical Engineering Pitman Publising Inc.*, Melbourne;
- Marwan, 1993, *Studi Perilaku Likuifaksi Menggunakan Data Tes Laboratorium Triaksial Siklis*, Tesis S2, ITB;
- Seed, H. B., and Idriss, I. M., 1971, *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 97 No. 9, pp. 1249-1273;
- Seed, H. B., Martin, P. P., and Lysmer, J., 1976, *Pore-water Pressure Change During Soil Liquefaction*, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102 No. 4, pp. 323-346;