

**ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN UJI PENETRASI
STANDAR (SPT)
(STUDI KASUS: PEMBANGUNAN *FLY OVER* JL. TUANKU TAMBUSAI – JL.
SOEKARNO HATTA PERKANBARU)**

Rani Ardeyline Gustika¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Ferry Fatnanta²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, 28293

Email : rani.ardeylinagustika@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is the country that located and surrounded by three great continental plates, where the earthquakes are usually happens. This kind of phenomenon has some direct impacts, which one of them is soil liquefaction. Soil liquefaction is a phase transition process from solid to liquid phase due to increasing the pore water pressure that caused by cyclic loading. This study aims to identify the susceptibility of materials to liquefaction phenomenon using the grain size distribution curve, to analyze the safety factor (FS) and liquefaction potential index (LPI). In order to do this study, one bore holes were observed by using standard penetration test (SPT) to evaluate the liquefaction potential phenomenon. The values taken for the peak ground acceleration (PGA) are 0,250 g, 0,288 g and 0,315 g while the values of 5,00, 6,45 and 7,90 were taken as moment magnitude (M_w). The results of this study shows that the materials are susceptible to liquefied based on grain size distributions. Furthermore, the location has a potential of liquefaction, and give values between 0,250-11,084 with a low to very high of LPI category.

Keywords: soil liquefaction, susceptibility, safety factor, liquefaction potential index.

A. PENDAHULUAN

Gempa bumi yaitu suatu peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik serta aktivitas-aktivitas vulkanik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi.

Peristiwa gempa bumi menimbulkan akibat yang dikategorikan sebagai akibat secara langsung maupun tidak langsung. Akibat langsung dari gempa bumi adalah fenomena likuifaksi, penurunan tanah (*soil settlement*), tanah

longsor (*landslide*), retakan pada permukaan tanah (*ground breaking/faulting*) serta kerusakan bangunan. Kerusakan tidak langsung adalah kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi situs (*topographical effects*) dan kondisi tanah (*site effects*) yang mengakibatkan kerusakan bangunan yang dipengaruhi oleh peristiwa/akibat dari propagasi/rambatan gelombang gempa.

Ancaman bencana dan permasalahan geoteknik yang diakibatkan secara langsung oleh gempa bumi adalah fenomena likuifaksi yang dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur di wilayah perkotaan di Indonesia. Fenomena likuifaksi yang pernah terjadi di Indonesia mulai dikenal akibat gempa bumi yang

terjadi di Maumere (1992) dengan *moment magnitude* gempa (M_w) 6,8, gempa bumi Yogyakarta (2006) dengan M_w sebesar 5,9, gempa bumi Padang (2009) dengan M_w sebesar 7,6, gempa bumi Lombok Utara (2018) dengan M_w sebesar 6,8, serta gempa bumi yang terjadi di Palu pada tahun 2018 dengan M_w sebesar 7,4 dan menjadi salah satu fenomena likuifaksi yang terkenal di Indonesia dan dinilai memiliki dampak yang sangat merugikan karena tidak hanya merusak bangunan dan infrastruktur tetapi juga memakan ribuan korban jiwa.

Likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah granular (pasir) yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori (*pore water pressure*) yang disebabkan oleh beban dinamis atau beban gempa (*cyclic*), sehingga tegangan efektif tanah menjadi berkurang. Akibat dari perubahan ini, kekuatan tanah menjadi menurun sehingga menyebabkan kegagalan dalam mendukung bangunan di atasnya (kerusakan struktur) seperti penurunan fondasi, gaya angkat (*uplift*) dan aliran lateral dalam tanah. Oleh karena itu, analisis likuifaksi menjadi komponen penting dalam geoteknik untuk penilaian bahaya gempa pada wilayah yang terletak pada area rawan gempa.

Provinsi Riau yang merupakan salah satu provinsi yang terletak di pulau Sumatra memiliki potensi terjadinya gempa bumi yang relatif rendah. Walaupun provinsi Riau memiliki riwayat pusat gempa (*epicenter*) yang relatif sedikit, namun tidak menutup kemungkinan bahwa daerah ini akan mengalami gempa bumi dan menjadi salah satu daerah rentan terjadinya likuifaksi yang menyebabkan terjadinya kerusakan struktur yang dibangun di atas lapisan tanah pasir.

Peristiwa likuifaksi ini telah dibuktikan memiliki dampak yang menyebabkan kerusakan bangunan dan kerugian material. Untuk itu, diperlukan

suatu metode mudah dan sederhana yang telah diperkenalkan oleh beberapa ahli seperti Seed and Idriss (1971) untuk mengevaluasi dan menganalisis potensi likuifaksi pada tanah, yaitu salah satunya adalah metode analisis potensi likuifaksi menggunakan data pengujian SPT di lapangan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran seismik yang disebabkan oleh pecahan atau bergesernya bebatuan di suatu tempat di dalam kerak bumi (Schodek, et al., 2014). Faktor utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar sehingga memicu terjadinya getaran. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan.

Gempa bumi yang terjadi sebagian besar berasal dari kegiatan tektonik, yaitu mencakup 90% dari seluruh kegiatan gempa bumi. Gempa bumi ini berhubungan langsung dengan kegiatan lempeng tektonik yang terus berlangsung serta berhubungan dengan proses pembentukan gunung-gunung, patahan-patahan (*faults*) dan tarikan atau tegangan dari pergerakan lempeng-lempeng batuan penyusun kerak bumi.

B.2 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil

dan juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Das, 2006).

B.3 Metode Penyelidikan Tanah di Lapangan

Likuifaksi yang merupakan dampak dari peristiwa gempa bumi dapat dianalisis berdasarkan penyelidikan tanah berupa pengujian langsung di lapangan (*in-situ test*). Pengujian ini merupakan pengujian yang paling sering digunakan untuk menganalisis likuifaksi seperti SPT, CPT, BPT, *Large Penetrometer Test* (LPT), dan *Shear Wave Velocity* (V_s). Namun diantara pengujian ini, SPT merupakan penyelidikan tanah yang digunakan pertama kali untuk menganalisis peristiwa likuifaksi dan menjadi metode yang paling sering digunakan. Berbeda dengan SPT, CPT juga digunakan untuk menganalisis likuifaksi, tetapi membutuhkan alat untuk menentukan parameter tertentu di lokasi spesifik penelitian. Sedangkan BPT, LPT dan V_s cenderung digunakan pada situasi khusus, sehingga penyelidikan tanah ini jarang digunakan dibandingkan dengan SPT dan CPT dalam menganalisis dan mengevaluasi potensi terjadinya likuifaksi.

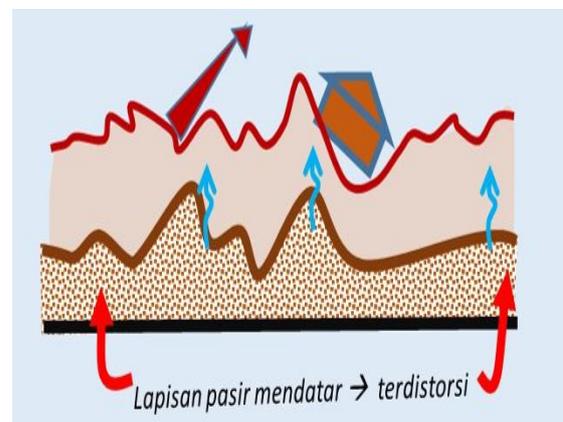
B.4 Likuifaksi

Likuifaksi adalah suatu peristiwa dimana tanah berubah dari fase padat menjadi fase cair akibat meningkatnya tekanan air pori (*pore water pressure*) dalam rongga tanah (Idriss, et al., 2010). Kejadian ini terutama berkaitan dengan kondisi tanah pasir jenuh (*saturated*) yang memiliki kepadatan lepas atau sedang. Dampak dari peningkatan tekanan air pori tanah ini adalah tanah kehilangan kuat gesernya secara drastis akibat dari turunnya tegangan efektif tanah seiring dengan meningkatnya tegangan air. Hilangnya kekuatan tanah ini akan menyebabkan kerusakan pada struktur atau infrastruktur yang berada di atasnya.

B.4.1 Proses Terjadinya Likuifaksi

Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air. Hal ini disebabkan karena seluruh rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Pada saat mengalami getaran, air memberikan kepadatan dari tanah tersebut. Tanah yang mengalami likuifaksi juga tekanannya lebih tinggi pada dinding penahan yang dapat menyebabkan struktur tersebut menjadi miring atau geser. Gerakan ini dapat menyebabkan tanah kehilangan kekuatannya dan akan mengakibatkan penurunan tanah (*soil settlement*) serta kerusakan struktur pada permukaan tanah. Kerusakan struktur yang terjadi ini tentunya akan menimbulkan berbagai macam kerugian.

Mekanisme terjadinya likuifaksi menurut (Seed et al., 1975) dikutip dari Amirulmukminin (2008:4) bahwa untuk menganalisis kemungkinan terjadi likuifaksi diasumsikan bahwa selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi disipasi atau belum terjadinya redistribusi tekanan air pori pada masa tanah. Akibat beban siklik, tanah mengalami tekanan sebelum air sempat keluar meninggalkan pori. Hal ini menyebabkan tekanan air pori meningkat, sebaliknya mengakibatkan tegangan efektif berkurang. Proses terjadinya likuifaksi dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses terjadinya Likuifaksi
(Sumber: Anonim, 2018)

B.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

Fenomena likuifaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor atau yang dapat meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi pada suatu lapisan tanah. Berdasarkan hasil observasi-observasi lapangan dan uji laboratorium serta studi-studi yang telah dilakukan para ahli maka dapat disimpulkan beberapa faktor yang dapat berpengaruh dalam meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi pada suatu lapisan tanah.

1) Indeks Properties Tanah

Indeks properties tanah mempengaruhi peristiwa likuifaksi seperti kerapatan relatif (*relative density*), gradasi tanah, bentuk partikel tanah, jenis tanah dan lamanya waktu konsolidasi.

Seed dan Idriss (1999), Youd dan Gilstrap mengemukakan bahwa tanah kohesif dapat terlikuifaksi jika memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Jumlah butiran partikel yang lebih kecil dari 0,005 mm harus kurang dari 15% dari berat kering tanah tersebut.
- Tanah harus memiliki batas cair (*liquid limit*, LL) yang kurang dari 35% ($LL < 35\%$).
- Kadar air (*water content*, w) harus lebih besar dari 0,9 dari batas cair tanah tersebut ($w > 0,99 LL$).

2) Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi terjadinya likuifaksi seperti potensi letak muka air tanah, letak geologis tanah, sejarah tanah, pembebanan, dan sejarah geologi dan seismik tanah.

3) Karakteristik Gempa

Adapun karakteristik gempa yang mempengaruhi terjadinya peristiwa likuifaksi adalah intensitas dan lama getaran yang terjadi.

B.4.3 Dampak yang ditimbulkan Akibat Feomena Likuifaksi

Likuifaksi sering terjadi di daerah dengan tanah berpasir jenuh dan kerapatan yang rendah di daerah yang dekat dengan pusat gempa. Secara umum, sebagian besar fenomena likuifaksi diamati di dekat sungai, danau atau daerah pantai.

Menurut (Bin, et al., 2012), likuifaksi memberikan dampak yang dapat dilihat secara langsung, diantaranya adalah:

1. Semburan Pasir (*Sand Boiling*)

Semburan pasir (*sand boiling*) merupakan salah satu dampak yang paling menentukan yang terjadi ketika tegangan air pori berada dalam nilai tertentu. Peristiwa ini ditandai dengan adanya butiran tanah yaitu campuran dari butiran-butiran pasir dan air yang terangkat dari dalam lapisan tanah dari kedalaman yang dangkal ke permukaan tanah selama terjadinya gempa bumi. Semburan pasir (*sand boiling*) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Semburan Pasir (*Sand Boiling*)

Sumber: (Bin, et al., 2012)

2. Retakan-retakan pada Tanah (*Ground Cracking*)

Retakan pada tanah terjadi di hampir setiap tempat yang mengalami gempa karena distribusi material yang sangat tidak merata di lapisan tanah. Menurut survei lapangan, setelah gempa Wenchuan (2008), tanah retak telah terjadi pada 70 – 80% di lokasi likuifaksi. Retakan pada tanah (*ground cracking*) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Retakan-retakan pada Tanah (*Ground Cracking*)

Sumber: (Bin, et al., 2012)

3. *Lateral Spreading*

Lateral spreading mengacu pada perpindahan horizontal dari tanah yang diinduksi oleh likuifaksi. Bartlett dan Youd (1992) menunjukkan bahwa penyebaran lateral yang dihasilkan oleh likuifaksi sebagian besar terjadi pada lereng ringan yang didasari oleh pasir lepas dengan muka air dangkal. *Lateral spreading* dapat dilihat pada Gambar 4.



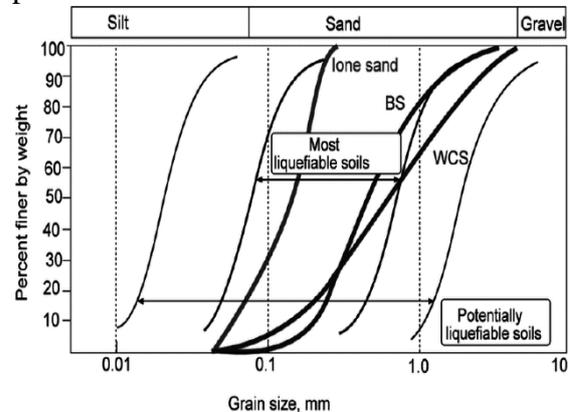
Gambar 4. *Lateral Spreading*

Sumber: (Bin, et al., 2012)

B.4.4 Parameter yang Mempengaruhi Likuifaksi

Karakteristik tanah yang menimbulkan perubahan volume biasanya berhubungan dengan kerentanan (*susceptibility*) material tanah tersebut terhadap likuifaksi, yang dikaji berdasarkan ukuran partikel tanah, bentuk partikel serta gradasi tanah. Berdasarkan hasil analisa saringan pada tanah yang mengalami dan tidak mengalami likuifaksi, (Tsuchida, 1970) mengusulkan suatu kurva batas distribusi ukuran butiran untuk mengidentifikasi tanah yang rentan dan tidak rentan terhadap likuifaksi. Batas bawah pada kurva ukuran partikel yang

mengalami likuifaksi menunjukkan pengaruh kandungan butir halus dalam mengurangi kecenderungan tanah untuk memadat selama adanya beban siklik. Butiran pasir yang bersifat plastis menyebabkan butir pasir lebih sukar menggelincir diantara partikel, tetapi butir pasir halus yang tidak bersifat plastis tidak memberikan pengaruh. Batas atas dari ukuran partikel dikaitkan dengan sifat butir kasar yang *permeable*, sehingga dapat terjadi pelepasan tekanan air pori secara parsial pada saat terjadi gempa atau beban siklik. Kurva batasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Batasan Distribusi Ukuran Butiran yang Mengalami Likuifaksi (Tsuchida, 1970)

Sumber: (Seyfi, 2010)

1) *Cyclic Stress Ratio (CSR)*

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Besarnya nilai CSR sangat dipengaruhi oleh nilai faktor reduksi tegangan (r_d). Semakin kecil nilai faktor reduksi maka akan semakin kecil nilai CSR sehingga potensi terjadinya likuifaksi akan semakin kecil. Selain itu, nilai CSR pada suatu lapisan tanah juga sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa.

Nilai CSR yang dipicu oleh gempa bumi pada kedalaman tertentu

biasanya dinyatakan sebagai suatu nilai representatif (nilai seragam yang setara) sama dengan 65% (Seed & Idriss, 1967) dari rasio tegangan geser siklik maksimum. Persamaan CSR menurut Seed – Idriss dapat dirumuskan seperti Rumus (1) sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d \quad (1)$$

Dengan:

- a_{max} = Percepatan horizontal maksimum tanah (g)
- g = Percepatan gravitasi (g)
- σ_v = Tegangan total vertikal (kPa)
- σ'_v = Tegangan efektif vertikal (kPa)
- r_d = Faktor reduksi tegangan

Idriss (1999) menyimpulkan bahwa parameter faktor reduksi tegangan (r_d) dapat dirumuskan seperti Rumus (2), (3), dan (4):

$$r_d = \exp [\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (2)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (3)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (4)$$

Besarnya percepatan horizontal maksimum tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (F_{PGA}) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010. Secara matematis, percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan Rumus (5) seperti berikut:

$$PGA_m = F_{PGA} \times S_{PGA} \quad (5)$$

Dengan:

- PGA_m = Nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site* (jenis tanah)
- F_{PGA} = Faktor amplifikasi untuk PGA

$$S_{PGA} = \text{Nilai PGA di batuan dasar (S}_B\text{)}$$

2) *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Nilai CRR tanah merupakan korelasi dengan parameter *in-situ* seperti jumlah pukulan SPT, resistensi penetrasi CPT atau kecepatan gelombang geser (V_s). Hitungan SPT dipengaruhi oleh faktor koreksi (panjang batang, energi palu (*hammer*), detail sampel, ukuran lubang bor) dan tekanan overburden efektif.

Perhitungan nilai CRR tanah juga dipengaruhi oleh durasi gempa, *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dan faktor koreksi tekanan overburden (K_σ). Oleh karena itu, korelasi nilai CRR dikembangkan untuk $M = 7,5$ dan $\sigma'_v = 1$ atm, dan kemudian disesuaikan untuk nilai M dan σ'_v lainnya dengan menggunakan Rumus (6):

$$CRR_{M,\sigma'_v} = CRR_{M=7,5,\sigma'_v=1 \text{ atm}} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (6)$$

Korelasi antara nilai CRR disesuaikan dengan $M = 7,5$ dan $\sigma'_v = 1$ atm (= 100 kPa) dan nilai ekuivalen pasir bersih (*equivalent clean sand*), $((N_1)_{60CS})$ untuk tanah non kohesif, seperti yang dikembangkan oleh Idriss dan Boulanger (2004, 2008), dinyatakan dalam Rumus (7):

$$CRR_{M=7,5,\sigma'_v=1 \text{ atm}} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14,1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right) \quad (7)$$

Magnitude Scaling Factor (MSF) adalah faktor skala gempa yang dikemukakan pertama kali oleh Seed dan Idriss (1982) disebabkan karena sulitnya membedakan kondisi likuifaksi dan non-likuifaksi pada perhitungan CRR untuk gempa selain 7,5 ($M = 7,5$). Oleh karena itu, koefisien MSF menjadi salah satu parameter yang berpengaruh dalam perhitungan beban gempa (CSR). Persamaan nilai MSF dapat dilihat pada Rumus (8):

$$MSF = 6,9 \cdot \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (8)$$

Faktor koreksi tekanan overburden (K_σ) yang dikembangkan oleh Boulanger (2003) menunjukkan bahwa nilai CRR untuk tanah pasir di laboratorium berkaitan dengan indeks parameter keadaan relatif tanah. Sehingga (Idriss & Boulanger, 2008) mengemukakan persamaan nilai K_σ sebagai Rumus (9) dan Rumus (10):

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right) \leq 1,1 \quad (9)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 2,55 \sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0,3 \quad (10)$$

Idriss dan Seed mengemukakan jika kandungan butir halus (FC) diperhitungkan terhadap nilai CRR, sehingga nilai $(N_1)_{60}$ harus dikoreksi terhadap nilai ekivalen pasir bersih dengan menggunakan Rumus (11):

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (11)$$

Nilai *equivalent clean sand adjustment* ($\Delta(N_1)_{60}$) secara empiris diperkenalkan oleh (Idriss dan Boulanger, 2004). Perhitungan nilai ini menjadi unsur yang penting karena memiliki pengaruh pada nilai CRR dengan jumlah pukulan SPT yang dikaji berdasarkan analisis kejadian likuifaksi. Secara empiris, *equivalent clean sand adjustment* ($\Delta(N_1)_{60}$) dapat dirumuskan seperti Rumus (12):

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01}\right)^2\right) \quad (12)$$

3) Angka Keamanan (FS)

Nilai CSR dan CRR diperlukan untuk mendapatkan nilai FS sebagai nilai kekuatan tanah untuk menahan beban gempa. Perhitungan nilai FS (Chaerunisa, et al., 2017) dapat dilihat pada Rumus (13) seperti berikut:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (13)$$

Dengan:

FS < 1 = Rentan terjadinya likuifaksi

FS = 1 = Kritis terjadinya likuifaksi

FS > 1 = Tidak terjadi likuifaksi

4) Liquefaction Potential Index (LPI)

Indeks Potensi Likuifaksi atau *Liquefaction Potential Index* (LPI) adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengestimasi potensi likuifaksi yang menyebabkan kerusakan fondasi. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Iwasaki dkk. (1978).

$$LPI = \int_0^{20\text{ m}} F w(z) dz \quad (14)$$

Dengan:

$$F = 1 - FS \quad \text{untuk } FS \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{untuk } FS > 1$$

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi proyek pembangunan *Fly Over* Jl. Tuanku Tambusai – Jl. Soekarno Hatta Pekanbaru yang terletak di Kelurahan Delima, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru. Pada lokasi ini dilakukan penyelidikan tanah dengan menggunakan alat berupa uji SPT sebanyak 3 titik. Untuk mengetahui potensi likuifaksi di lokasi penelitian ini, maka dilakukan analisis dengan metode deterministik berdasarkan data SPT yang dipublikasikan oleh (Idriss, et al., 2010). Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Lokasi Penelitian (*Fly Over* Jl. Tuanku Tambusai – Jl. Soekarno Hatta Pekanbaru)

Sumber: (Google Earth, 2019)

C.2 Metode Pengumpulan Data

Data primer (pokok) yang diperlukan dalam melakukan analisis

potensi terjadinya likuifaksi terdapat 2 macam data, yaitu:

- a. Data sejarah terjadinya gempa yang pernah terjadi dalam radius 500 km di wilayah penelitian.
- b. Data lapisan tanah (profil tanah) pada daerah penelitian.

Data sejarah gempa yang pernah terjadi diperoleh dari situs *United State Geological Survey* (USGS). Letak koordinat lokasi yang ingin diteliti, interval *magnitude* gempa yang diinginkan serta interval waktu kejadian gempa diperlukan untuk mendapatkan data gempa yang dibutuhkan. Dalam situs USGS data yang disediakan meliputi rentang waktu terjadinya gempa, besar *magnitude* gempa, kedalaman dan radius gempa, serta letak lokasi *epicenter* (garis lintang dan garis bujur). Data sejarah gempa yang diambil adalah riwayat gempa dari 1019 tahun yang lalu.

Besarnya *magnitude* gempa yang diambil untuk pengolahan data adalah *moment magnitude* gempa (M_w) dengan klasifikasi gempa adalah gempa dangkal. Gempa dangkal yang diperoleh dari *database* situs USGS kemudian diolah kembali dengan pendekatan statistik seperti nilai batas bawah (minimum), nilai batas atas (maksimum) dan nilai tengah antara batas atas dan batas bawah.

Adapun nilai a_{max} yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,250 g, 0,288 g dan 0,315 g. Sedangkan nilai M_w yang digunakan adalah 5,00, 6,45 dan 7,90.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Karakteristik Sifat Tanah

Sifat fisik maupun mekanik dari tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah di lapangan maupun di laboratorium. Penentuan sifat fisik dan mekanik untuk masing-masing titik pengujian diperlukan guna mendapatkan parameter-parameter yang mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan, diperoleh data sifat tanah untuk masing-masing titik pengujian.

Data sifat tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Sifat Tanah pada Titik Pengujian 1 (BH – 01)

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Klasifikasi USCS
		Titik Pengujian
BH – 01		
4,50 – 5,00	0,5	CL
14,50 – 15,00	0,5	SP
24,50 – 25,00	0,5	SP
34,50 – 35,00	0,5	SP

Lapisan tanah untuk masing-masing titik pengujian berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk beberapa rentang kedalaman tertentu dan hasil pengujian SPT menunjukkan bahwa lapisan tanah didominasi oleh lapisan pasir. Namun untuk kedalaman 4,50 sampai dengan 5,00 m pada titik pengujian BH – 01 dan BH – 02 diperoleh lapisan tanah lempung berpasir. Tanah lempung juga memiliki potensi untuk terjadinya likuifaksi. Pada penelitian ini, analisis likuifaksi pada tanah berbutir halus diperhitungkan guna mendapatkan hasil perkiraan potensi yang lebih teliti.

Hasil perhitungan analisis likuifaksi pada tanah berbutir halus menunjukkan bahwa kedua jenis tanah lempung pada kedalaman 4,50 m sampai dengan 5,00 m tidak dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi. Hal ini dikarenakan salah satu parameter tidak memenuhi persyaratan, yaitu jumlah sehingga tanah berbutir halus ini tidak diperlukan perhitungan nilai CSR dan CRR serta perhitungan nilai FS, dan LPI yang lebih lanjut.

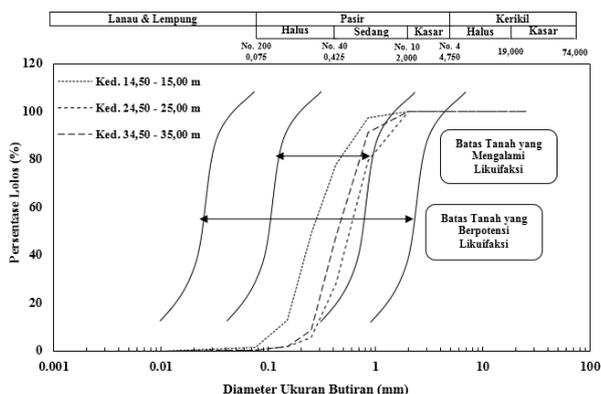
Tabel 2. Perhitungan Analisis Likuifaksi pada Tanah Berbutir Halus

Titik Pengujian (Hole No.)	Ked. (m)	Klasi. USCS	Fines Content, FC (%)	Berat Kering, Yd (kN/m ³)	D _{0,005mm} (gr)	Kadar Air, w (%)	Batas Cair, LL (%)
BH - 01	4,50 – 5,00	CL	59,82	15,50	N.A	25,67	24,14
BH - 02	4,50 – 5,00	CL	52,02	16,60	N.A	29,33	21,01

Syarat							
Titik Pengujian (Hole No.)	Ked. (m)	Klasi. USCS	$0,15 \times Yd$	$0,99 \times LL$	$D_{0,005} < 0,15(Yd)$	$LL < 35\%$	$w > 0,99 LL$
BH - 01	4,50 – 5,00	CL	2,33	23,9	N.A	Ya	Ya
BH - 02	4,50 – 5,00	CL	2,49	20,8	N.A	Ya	Ya

D.2 Analisis Kerentanan Material (*Susceptibility*) berdasarkan Distribusi Ukuran Butiran

Hasil interpretasi kurva yang menunjukkan kerentanan (*susceptibility*) dari suatu material tanah pada titik pengujian BH – 01 dapat dilihat pada Gambar 7. Pada titik pengujian ini, material tanah didominasi oleh tanah pasir. Dari hasil analisis tersebut, material tanah pada kedalaman 14,50 – 15,00, kedalaman 24,50 – 25,00 m dan kedalaman 34,50 – 35,00 m berada di dalam kurva batas tanah yang mengalami likuifaksi dengan besarnya kandungan pasir halus untuk masing-masing kedalaman adalah 76,50%, 27,57%, dan 47,64%. Secara keseluruhan, diameter butiran rata-rata (D_{50}) dari batas kurva tanah yang mengalami likuifaksi berada pada rentang 0,255 – 0,570 mm.



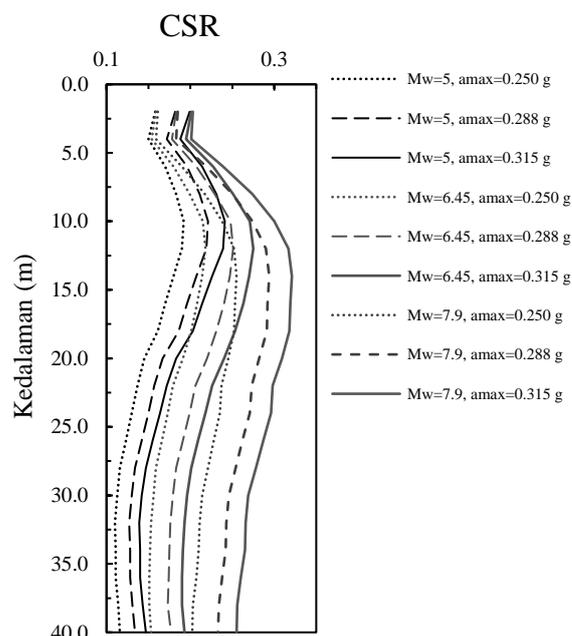
Gambar 7. Kurva Kerentanan Material (*Susceptibility*) pada BH – 01

D.3 Analisis Perhitungan Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Titik BH – 01 memiliki nilai CSR maksimum pada kedalaman 14,00 m dengan nilai CSR 0,321 dengan kondisi nilai M_w dan a_{max} masing-masing adalah

7,90 dan 0,315 g. Adapun nilai CSR minimum berada pada kedalaman 32,00 m dengan nilai CSR adalah sebesar 0,110, dengan kondisi nilai M_w dan a_{max} masing-masing adalah 5,00 dan 0,250 g.

Grafik nilai CSR terhadap kedalaman menunjukkan bahwa semakin besar nilai M_w dan nilai a_{max} , maka nilai CSR yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini dikarenakan nilai M_w dan a_{max} secara empiris berbanding lurus dengan nilai CSR. Selain itu, untuk nilai M_w yang sama dengan nilai a_{max} yang berbeda diperoleh nilai CSR yang lebih kecil dibandingkan nilai a_{max} yang sama untuk nilai M_w yang berbeda. Grafik nilai CSR terhadap kedalaman untuk variasi nilai *moment magnitude* gempa (M_w) dan percepatan tanah (a_{max}) pada masing-masing titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.



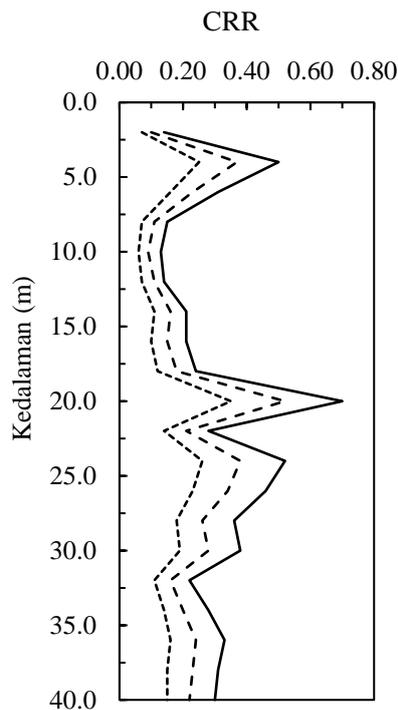
Gambar 8. Grafik Nilai CSR terhadap Kedalaman untuk Titik Pengujian BH – 01

D.4 Analisis Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Titik pengujian BH – 01 memiliki nilai CRR maksimum sebesar 0,70. nilai CRR maksimum ini dihasilkan pada M_w 5,00 dan pada rentang N-SPT 59-60

pukulan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai CRR berbanding terbalik dengan nilai M_w , serta semakin besar jumlah pukulan SPT maka kemampuan tanah dalam menahan beban siklik juga semakin besar.

Grafik nilai CRR terhadap kedalaman untuk variasi nilai M_w pada masing-masing titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



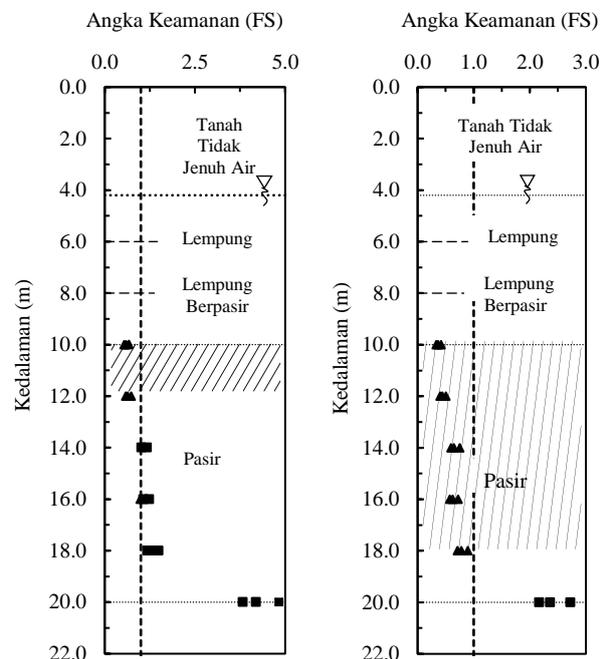
Gambar 9. Grafik Nilai CRR terhadap Kedalaman untuk Titik Pengujian BH – 01

D.5 Analisis Perhitungan Nilai Angka Keamanan (FS) dan Liquefaction Potential Index (LPI)

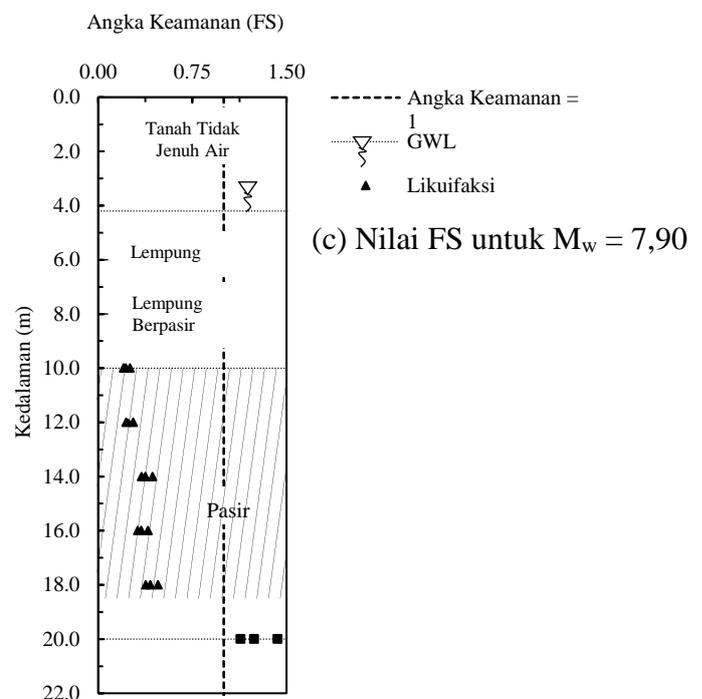
Dari hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa pada titik pengujian BH – 01 untuk nilai M_w 5,00 dan a_{max} 0,250 serta 0,288 g, likuifaksi hanya terjadi pada kedalaman 10,00 dan 12,00 m. Namun untuk nilai a_{max} 0,315 g, likuifaksi juga terjadi pada kedalaman 14,00 dan 16,00 m pada lapisan pasir. Secara keseluruhan, potensi likuifaksi mulai terjadi pada lapisan pasir pada kedalaman 10,0 m dengan rentang nilai LPI dan estimasi penurunan masing-masing adalah 2,667 – 11,084.

Tabel 3. Nilai LPI

$M_w = 5,00$			$M_w = 6,45$			$M_w = 7,90$		
a_{max} (g)			a_{max} (g)			a_{max} (g)		
0,250	0,288	0,315	0,250	0,288	0,315	0,250	0,288	0,315
2,667	3,504	4,212	6,303	7,460	8,110	10,069	10,723	11,084

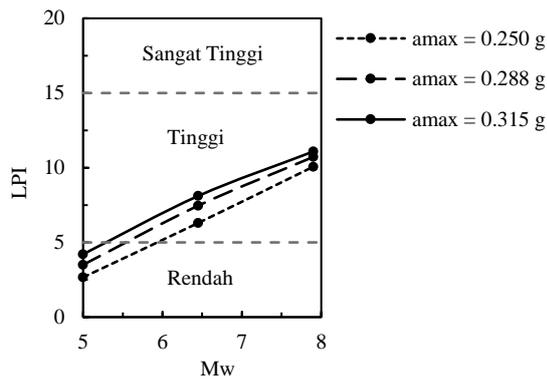


(a) Nilai FS untuk $M_w = 5,00$ (b) Nilai FS untuk $M_w = 6,45$



(c) Nilai FS untuk $M_w = 7,90$

Gambar 10. Grafik Nilai Angka Keamanan (FS) untuk Titik Pengujian BH - 01



Gambar 11. Grafik Nilai LPI untuk Titik Pengujian BH - 01

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis potensi likuifaksi, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Material tanah di lokasi penelitian secara gradasi ukuran butiran adalah material yang rentan terhadap likuifaksi untuk semua titik pengujian.
2. Titik pengujian pada lokasi penelitian memiliki potensi terhadapnya likuifaksi berdasarkan angka keamanan ($FS < 1$). Titik pengujian BH – 01, potensi likuifaksi mulai terjadi pada kedalaman 10,00 m.
3. Perhitungan nilai LPI pada masing-masing titik pengujian BH – 01 untuk variasi nilai a_{max} dengan nilai M_w 5,00 hingga M_w 7,90 pada lokasi penelitian memberikan klasifikasi nilai LPI yang tergolong rendah hingga sangat tinggi.

E.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya ataupun kepentingan lainnya sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan analisis perhitungan likuifaksi untuk beberapa titik pengujian guna melihat lebih detail analisis terjadinya likuifaksi.

2. Hasil perhitungan sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan analisis likuifaksi lainnya seperti hasil pengujian sondir dan kecepatan gelombang geser.
3. Hasil analisis perhitungan likuifaksi sebaiknya juga menghitung nilai lateral displacement index (LDI) guna mendapatkan besarnya perpindahan tanah akibat peristiwa likuifaksi, menghitung nilai liquefaction severity number (LSN) guna mengukur dampak dari peristiwa likuifaksi yang ditandai dengan tingkat kerusakan lahan.

Daftar Pustaka

- Bin, Y., Xueqian, N., Yu, H., & Feng, Z. (2012). Unified Modeling of Soil Behaviors Beforeafter Flow Liquefaction. *Soil and Foundations*, 102, 125-135.
- Chaerunisa, A., & Asriana. (2017). Analysis on Soil Liquefaction Potential in Pangandaran Coastal Area West Java. *C*, hal. 564-573. Semarang: PROCEEDINGS - The 3rd International Conference on Coastal and Delta Areas.
- Das, B. M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering, 7th Edition*. Stamford: Cengage Learning.
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2010). *SPT - Based Liquefaction Triggerring Procedures*. California: Center for Geotechnical Modelling.
- Schodek, D. L., & Bechthold, M. (2014). *Structures*. Cambridge: Pearson.
- Seyfi, A. (2010). Liquefaction Analysis in Grenoble Basin by In Situ and Laboratory Tests. *Sciences Technology Sante*.