

ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT (STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BARU UNTIRTA SINDANG SARI)

Enden Mina¹, Rama Indera², Sudirman.³

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman km. 03 Cilegon, Banten

Email : sudirmansumberarum@gmail.com

INTISARI

Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah kehilangan kekuatan geser karena meningkatnya tegangan air pori akibat terjadinya beban siklik (beban gempa) yang sangat cepat dalam waktu yang singkat. Lokasi pembangunan gedung baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang terletak di Desa Sindang Sari Kab. Serang dipilih sebagai lokasi penelitian evaluasi potensi likuifaksi dengan menggunakan metode pendekatan data *Standart Penetration Test* (SPT). Analisa potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (FS) yang diperoleh dengan membandingkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), likuifaksi akan terjadi untuk FS lebih kecil dari satu. Berdasarkan hasil analisa profil tanah pada lokasi penelitian, tanah tersebut dominan tanah pasir keras dan padat, hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai rata-rata nilai N-SPT yang tinggi sehingga menghasilkan nilai CRR yang besar. Nilai CSR pada lokasi penelitian memiliki nilai cukup besar, hal tersebut diakibatkan oleh nilai percepatan gempa yang diperoleh dari perhitungan NERA memiliki nilai rata-rata lebih dari 0,2 g. Faktor keamanan (FS) pada Lokasi Pembangunan Proyek Kampus Baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang terletak di Desa Sindang Sari, Kab. Serang hanya pada titik BH-1 dikedalaman 17,5-19,5 m yang terjadi likuifaksi yaitu dengan nilai 0,91 ($FS < 1$), sedangkan pada titik yang lain aman terhadap bahaya likuifaksi, hal tersebut dibuktikan dengan nilai $FS > 1$.

Kata kunci : Gempa Bumi, likuifaksi, cyclic stress ratio (CSR), cyclic resistance ratio (CRR), faktor keamanan (FS)

ABSTRACT

Liquefaction is an incident where the soil loses its shear strength due to increased pore-water stress due to the incident of very fast cyclic loading in a short time. Location of new building construction of University of Sultan Ageng Tirtayasa located in Sindang Sari Village Kab. Serang was chosen as the location for evaluation of liquefaction potential by using the method of data approach of Standard Penetration Test (SPT). This liquefaction potential analysis aims to determine the value of safety factor (FS) obtained by comparing the value of Cyclic Resistance Ratio (CRR) and Cyclic Stress Ratio (CSR) value, liquefaction will occur for FS smaller than one. Based on the result of soil profile analysis at the research location, the soil is dominant of hard and solid sand soil, it can be proved by the average value of high N-SPT value resulting in large CRR value. The value of CSR in the research location has a considerable value, it is caused by the earthquake acceleration value obtained from the calculation of NERA has an average value of more than 0.2 g. Safety factor (FS) on the Location of New campus Project of Sultan Ageng Tirtayasa University located in Sindang Sari Village, Serang district only at point BH-1 in depth 17,5-19,5 m that happened liquefaction that is with value 0,91 ($FS < 1$), while at other point safe against liquefaction hazard, it is proved by value of $FS > 1$.

Key word : Earthquake, liquefaction, cyclic stress ratio (CSR), cyclic resistance ratio (CRR), factor safty (FS)

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan bencana alam yang cukup unik, berbeda dengan bencana lainnya seperti badai, banjir, dan lainnya yang dapat diprediksi sedangkan gempa bumi sulit diprediksi kapan terjadinya. Dampak dari gempa bumi cukup serius terhadap suatu struktur bangunan, bahkan jika perencanaan dan pelaksanaannya kurang baik dapat menyebabkan kegagalan struktur. Kegagalan struktur bangunan dibagi menjadi dua, yaitu kegagalan struktur atas dan kegagalan struktur bawah. Pada penelitian ini penulis melakukan analisa pada salah satu penyebab kegagalan struktur yaitu struktur bawah khususnya likuifaksi.

Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah terjadi kehilangan kekuatan geser karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban siklik (beban gempa) yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008). Titik lokasi penelitian yang penulis ambil yaitu pada Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Kampus Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang berlokasi pada Desa Sindang Sari Kab Serang, Banten. Analisa likuifaksi perlu dilakukan karena lokasi tersebut terletak pada zona yang memiliki potensi gempa cukup besar.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuifaksi pada lokasi pembangunan gedung baru UNTIRTA. Manfaat penelitian ini yaitu sebagai pertimbangan untuk kontraktor maupun lembaga terkait dalam perencanaan proyek pembangunan gedung perkuliahan baru UNTIRTA sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan rekayasa teknik untuk mengurangi potensi terjadinya likuifaksi pada lokasi tersebut yang dapat menimbulkan kerugian fisik maupun korban jiwa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah adalah himpunan mineral bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar. Ikatan antar partikel tanah lemah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang bersenyawa, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik.

Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air atau udara.

Proses pembentukan tanah terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis yaitu mengubah batuan menjadi partikel kecil akibat pengaruh angin, erosi, es, manusia, suhu atau cuaca. Sedangkan proses kimiawi akibat pengaruh zat disekitarnya seperti oksigen, karbondioksida, air terutama yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia lainnya. Hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya disebut tanah residual, dan jika hasil pelapukan tanah berpindah dari tempat asalnya disebut tanah terangkut.

B. Gempa Bumi

1. Jalur Gempa Tektonik

Secara geografis, kepulauan Indonesia berada di antara 6° LU - 11° LS dan 95° BT-141° BT serta terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Lempeng Eurasia dan Indo-Australia bertumbukan di lepas pantai barat pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai selatan kepulauan Nusa Tenggara, dan berbelok ke arah utara ke perairan Maluku sebelah selatan, sedangkan Lempeng Australia dan Pasifik bertumbukan di sekitar Pulau Papua. Sementara itu, pertemuan antara ketiga lempeng tersebut terjadi di sekitar Sulawesi. Akibat terletak pada pertemuan 3 lempeng tersebut, di kawasan Indonesia banyak terdapat patahan-patahan aktif, seperti patahan Semangko di Sumatera, Cimandiri di Jawa dan banyak patahan serta sub patahan lainnya yang tersebar di seluruh penjuru Indonesia.

2. Sumber Gempa Wilayah Banten

Wilayah Banten lebih dari 45% merupakan daerah rawan gempa. Wilayah selatan dan barat Banten merupakan daerah yang berpotensi mengalami gempa tektonik. Selain lempeng Indo-Australia dan Eurasia, juga menjadi sumber gempa bumi Banten adalah adanya lempeng lempeng mikro Sunda. Terdapat beberapa zone penunjaman lempeng mikro di sekitar Banten dan struktur seismogenik yang dapat memicu maupun telah menyebabkan terjadinya gempa terdapat di Selat Sunda. Pesisir barat

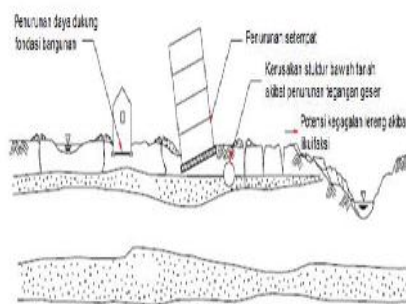
Banten selain rawan gempa tektonik, juga rawan gempa vulkanik.

C. Likuifaksi

1. Pengertian Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran. Getaran yang dimaksud dapat berupa getaran yang berasal dari gempa bumi maupun yang berasal dari pembebanan cepat lainnya. Ketika mengalami getaran tersebut sifat lapisan tanah berubah menjadi seperti cairan sehingga tak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air, dimana seluruh rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air.

Pada saat mengalami getaran, air pori memberikan suatu tekanan di partikel-partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan dari tanah tersebut. Sebelum terjadinya gempa bumi, tekanan air pada suatu tanah relatif rendah. Namun setelah menerima getaran, tekanan air dalam tanah meningkat, sehingga dapat menggerakkan partikel-partikel tanah dengan mudah. Setelah digerakkan oleh air, maka partikel tanah tidak memiliki lagi kekuatan atau daya dukung, sehingga daya dukung tanah sepenuhnya berasal dari tegangan air pori.



Gambar 1. Ilustrasi Efek Likuifaksi

Sumber : Rosyidi Dkk, 2010

2. Syarat terjadinya likuifaksi

Likuifaksi hanya bisa terjadi dengan syarat tertentu, apabila suatu tanah tidak memenuhi syarat-syarat tersebut, maka tanah tersebut tidak berpotensi untuk terjadi likuifaksi. Oleh

karena itu perencana pembangunan harus menghindari tanah-tanah yang telah memenuhi syarat-syarat terjadinya likuifaksi. Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah atau lahan yang tidak padat atau tanah lepas. Misalnya tanah yang terbentuk dari pasir, endapan bekas delta sungai, dan bahan-bahan lainnya. Tanah semacam itu cenderung tidak padat sehingga memiliki rongga yang banyak. Secara umum dapat disimpulkan bahwa syarat-syarat terjadinya likuifaksi pada suatu wilayah adalah :

- Lapisan tanah berupa pasir atau lanau,
- Lapisan tanah jenuh air,
- Lapisan tanah bersifat lepas (tidak padat),
- Terjadi gempa bermagnitudo di atas 5,0, dan
- Berkecepatan gempa lebih dari 0.1 g.

3. Proses terjadinya likuifaksi

Untuk memahami proses terjadinya likuifaksi, perlu kita pahami terlebih dahulu bahwa suatu endapan tanah terdiri dari partikel-partikel. Jika kita perhatikan setiap partikel tersebut letaknya saling berdekatan, sehingga setiap partikel memiliki kontak dengan partikel yang lain (Gambar 2). Dengan adanya kontak antar partikel tersebut, tanah menjadi memiliki suatu kekuatan untuk memikul beban di atasnya, sebab kondisi seperti ini menjadikan beban yang berada di atas tanah akan dipikul secara bersamaan oleh seluruh partikel. Dan akhirnya beban tersebut akan di salurkan ke lapisan batuan dasar di bagian bawah lapisan tanah tersebut tanah.



Gambar 2. Kondisi Partikel Tanah Saat Normal Sebelum Terjadinya Kenaikan Tegangan Air Pori
Sumber : M. Mabruur, 2009

Pada kondisi tanah seperti gambar 3 tampak bahwa banyak rongga antar partikel tanah

yang dipenuhi air. Pada kondisi normal, air tersebut memiliki tekanan air pori yang relatif rendah.

Pada saat menerima tekanan dari getaran secara tiba-tiba, air tersebut akan terdesak sehingga ia akan menaikkan tekanannya untuk dapat mencari jalan keluar. Namun, pada saat terjadinya gempa, air tersebut tidak memiliki cukup waktu untuk berdisipasi keluar dari tanah melalui rongga-rongga tanah, sehingga sebagai gantinya air tersebut mendorong partikel-partikel tanah sehingga beberapa partikel tanah sebelumnya berhubungan menjadi menjauh gambar 3. Dan akhirnya partikel tanah tidak dapat mendistribusikan beban lagi dengan maksimal.



Gambar 3. Kondisi Partikel Tanah Saat Mengalami Getaran Saat Terjadinya Kenaikan Tegangan Air Pori
Sumber : M. Maburur, 2009

Pada kondisi seperti ini, sebagian besar beban dipikul oleh air. Sehingga pemikulan beban pada tanah tersebut menjadi tidak stabil. Kondisi ini dapat dianalogikan seperti beban sebuah kapal yang mengapung diatas air. Apabila air tidak dapat memikul beban dari kapal tersebut, maka kapal tersebut akan tenggelam ke dalam air. Hal tersebut terjadi juga pada beban dari gedung pada tanah yang mengalami likuifaksi, maka gedung tersebut akan tenggelam ke dalam tanah.

4. Faktor – Faktor yang dapat meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi pada suatu lapisan tanah

Ada banyak faktor yang dapat meningkatkan potensi terjadinya proses likuifaksi pada suatu lapisan tanah. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan uji laboratorium, serta studi-studi yang telah dilakukan para ahli maka dapat disimpulkan faktor yang berpengaruh dalam meningkatkan potensi terjadinya

likuifaksi pada suatu lapisan tanah adalah sebagai berikut:

- a) Intensitas dan durasi dari gempa yang terjadi
- b) Posisi letak permukaan air tanah
- c) Jenis Tanah
- d) Rapat relatif tanah (Dr)
- e) Gradasi ukuran partikel
- f) Letak geologis tanah
- g) Kondisi - kondisi drainase
- h) Tegangan Selimut (*Confining Pressures*)
- i) Bentuk Partikel
- j) Lamanya waktu konsolidasi
- k) Sejarah Tanah
- l) Beban Bangunan

D. Parameter yang mempengaruhi potensi likuifaksi

1. Tegangan Efektif

a. Kondisi tanah kering

Dipandang tekanan pada suatu bidang datar didalam tanah. Kondisi tanah homogen dan tidak ada air, berapakah tekanan yang bekerja pada kedalaman h? Tekanan = gaya per luas, Tekanan = berat prisma tanah yang tampangnya 1m.

$$\text{Berat } (W) = A h \gamma \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Tegangan } (\sigma) = h \gamma$$

Tanah dapat bermacam-macam sesuai dengan γ kering = γ_d , atau basah = γ_{sat} . Jika tanah berlapis-lapis dan ada beban, maka tekanan pada tanah dasar :

$$\gamma = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 + \dots \dots \dots(2)$$

b. Kondisi ada air tanah

Pada kondisi ini tekanan dibedakan menjadi tekanan total dan tekanan pori (tekanan air pori atau tekanan hidrostatis). Dalam menentukan tekanan pada tanah dapat melihat ilustrasi pada gambar di bawah. Tanah terdiri dari dua lapis, muka air sedalam h_1 dari muka tanah, dengan berat volume tanah γ dan tanah dasar sedalam h_2 dari muka air tanah, dengan berat volume tanah kenyang air γ_{sat} . Tekanan total sama dengan berat total prisma tanah

$$\sigma = h_1 \gamma + h_2 \gamma_{sat} \dots\dots\dots(3)$$

Tegangan air pori atau tekanan hidrostatis pada dasar tanah berpengaruh tekanan keatas pada prisma.

$$u = h_2 \gamma_w \dots\dots\dots(4)$$

maka tekanan efektif sama dengan berat prisma efektif

$$\sigma' = \sigma - u \dots \dots \dots (5)$$

untuk kondisi sederhana seperti diatas jika dihitung di dapat

$$\begin{aligned} \sigma' &= \sigma - u \\ &= h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_{sat} - h_2 \gamma_w \\ &= h_1 \gamma_1 + h_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w) \end{aligned}$$

Atau

$$= h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma \dots \dots \dots (6)$$

2. Percepatan gempa (α_{max})

Percepatan gempa (α_{max}) merupakan percepatan puncak muka tanah akibat getaran gempa yang terjadi. Metode penentuan percepatan gempa dapat menggunakan beberapa metode, antara lain SNI 2002, SNI 2012, data puskim, dan software NERA.

Pada penelitian ini penulis menggunakan software NERA untuk menentukan percepatan gempa (α_{max}) karena lebih akurat dengan kondisi tanah pada lokasi yang ditinjau. Ada beberapa data yang diperlukan untuk mengoperasikan program NERA antara lain data gempa, data SPT, dan data profil tanah.

3. Nilai SPT (Standard Penetrometer Test)

Nilai N SPT diperoleh dari hasil uji SPT dilapangan. Nilai N didefinisikan sebagai jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan silinder split barrel sampler sedalam 30,5 cm pada setiap pengujiannya. Berdasarkan nilai SPT, bahaya potensi likuifaksi dapat dituliskan sebagai berikut :

- N SPT = 0 – 20 Potensi likuifaksibesar
- N SPT = 20 – 30 Potensi likuifaksi Sedang
- N SPT > 30 Potensi likuifaksi tidak berarti

4. Faktor Reduksi (rd)

Faktor reduksi merupakan nilai yang dapat mengurangi tegangan di dalam tanah. Semakin jauh ke dalam tanah maka

faktor reduksi akan semakin kecil. Nilai rd adalah faktor nonlinier pengurangan beban yang bervariasi terhadap kedalaman. Menurut Seed and Idris (1971) besar dari nilai reduksi pada tanah berdasarkan kedalamannya.

Nilai rd sangat akan mempengaruhi besarnya nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) pada suatu lapisan tanah. Semakin kecil nilai rd maka akan semakin kecil pula nilai CSR sehingga potensi terjadinya likuifaksi juga akan semakin kecil. Nilai rd dapat diketahui dengan rumus dibawah ini :

$$rd = \frac{(1-0.4113z^{0.5}+0.04052z+0.001753z^{1.5})}{(1-0.4177z^{0.5}+0.05729z-0.006205z^{1.5}+0.001210z^2)} \dots \dots \dots (7)$$

z = Kedalaman Tanah

5. Cyclic Stress Ratio (CSR)

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di setiap lapisan. Nilai CSR pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa (a).

Dengan menganggap nilai percepatan rata-rata akibat gempa adalah 0,65 dari percepatan maksimum, maka nilai tegangan geser rata-rata dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\tau_{cyc} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \sigma \dots \dots \dots (8)$$

Karena kolom tanah tidak berperilaku seperti sebuah struktur yang kaku pada saat terjadi gempa (tanah dapat mengalami deformasi), maka Seed dan Idriss (1971) memasukkan sebuah faktor reduksi kedalaman, rd terhadap persamaan tersebut sehingga :

$$\tau_{cyc} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} rd \dots \dots \dots (9)$$

Untuk mendapatkan nilai CSR maka kedua sisi dinormalisasi dengan tegangan vertikal efektif, sehingga dapat dituliskan:

Dimana :

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma'}$$

rd.....(10)

- Dimana :
- α_{max} = percepatan maksimum akibat gempa,
 - g = percepatan gravitasi bumi,
 - σ = tegangan vertikal efektif,
 - σ' = tegangan vertikal total,
 - rd = faktor reduksi terhadap tegangan

6. Cyclic Resistant Ratio (CRR)

Dalam menganalisis potensi likuifaksi dengan metode SPT ada beberapa tahapan seperti berikut :

1) Menentukan nilai $(N_1)_{60}$.
 Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) memberikan koreksi-koreksi untuk memperoleh nilai $(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots(11)$$

Dimana :

N_m = Nilai N SPT yang diperoleh dari test lapangan.

C_N = Faktor normalisasi N_m terhadap tegangan *overburden* pada umumnya.

C_E = koreksi rasio *energy hammer* (ER)

C_B = koreksi untuk diameter lubang bor

C_R = faktor koreksi dari panjang batang

C_S = koreksi untuk sampel

Karena adanya peningkatan nilai N-SPT dengan meningkatkan tegangan *overburden* efektif, faktor koreksi tegangan *overburden* harus digunakan (Seed dan Idriss, 1980). Faktor ini umumnya digunakan dari persamaan berikut (Seed dan Idriss, 1982) :

$$C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma_v}{P_a})} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana nilai C_N tidak boleh melebihi dari 1,7, sedangkan untuk nilai faktor koreksi (normalisasi) nilai *Standard Penetration Test* (SPT).

2) Menentukan nilai $(N_1)_{60cs}$.

Menentukan *finer content* (FC) kemudian nilai $(N_1)_{60cs}$ yang dipengaruhi oleh nilai *finer content* itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001):

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase *finer content* (FC) :

$$\alpha = 0, \beta = 1, \quad FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp [1,76 - (190/FC^2)] \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = [0,99 - (FC^{1,5}/1000)] \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5, \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\%$$

3) Menentukan nilai CRR.

Menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w) 7.5 dan pasir murni dengan $(N_1)_{60cs} < 37,5$ (Youd dan Idriss, 2001):

$$CRR_{7.5} = \exp[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \frac{(N_1)_{60cs}}{126} - \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} + \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} - 2.8] \dots\dots(14)$$

Jika $(N_1)_{60cs} > 37,5$ maka tanah tersebut tidak perlu dievaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi adalah ketika $(N_1)_{60cs} < 37,5$. Jika $(N_1)_{60cs} < 37,5$ maka tanah tersebut kuat menahan beban seismic yang dapat diwakilkan dengan nilai $CRR_{7.5} = 2$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunana kampus baru UNTIRTA yang terletak di Desa Sindang Sari, Kab Serang. Pada tahap awal penelitian yaitu tahap pengumpulan data, data yang digunakan penulis merupakan data sekunder yang penulis kumpulkan dari Laboratorium Teknik Sipil FT.UNTIRTA. Data yang di perlukan antara lain nilai N-SPT, data setiap lapisan tanah, jarak muka air tanah dari permukaan, dan percepatan gempa. Pada penelitian ini penulis membuat bagan metode penelitian seperti pada gambar 4 dibawah ini.

A. Analisis Likuifaksi

1. Menganalisa jenis dan sifat setiap lapisan tanah.

Melakukan analisa setiap lapisan tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi, perhitungan likuifaksi hanya dilakukan pada karakteristik tanah yang telah penulis jelaskan sebelumnya.

2. Menghitung nilai *Cyclic Strees Ratio* (CSR).

- a. Menghitung percepatan gempa (α_{max})

Pada penelitian ini penulis dalam menentukan percepatan gempa maksimum (α_{max}) menggunakan *software* NERA karena nilai percepatan gempa yang didapatkan lebih akurat terhadap lokasi yang diambil. Data yang diperlukan pada *software* NERA antara lain data riwayat gempa pada lokasi, data profil tanah, dan data N-SPT. Langkah-langkah dalam menjalankan *software* sebagai berikut :

- 1) Memasukan data riwayat gempa pada lokasi yang ditinjau
- 2) Memproses data gempa yang telah diinput
- 3) Memasukan data lapisan tanah
- 4) *Running* data yang telah dimasukkan
- 5) Menentukan percepatan gempa maksimum (α_{max}) hasil dari *Calculate step-by-step*.

- b. Menghitung tegangan total (σ) dan tegangan efektif (σ')

$$\sigma = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_{sat}$$

untuk menentukan nilai tegangan efektif menggunakan rumus

$$\sigma' = h_1 \gamma_1 + h_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

- c. Menghitung koefisien tegangan reduksi (r_d)

Koefisien tegangan reduksi (r_d) dapat ditentukan berdasarkan persamaan (Liao dan Whiteman, 1986) sebagai berikut:

$$r_d = \frac{(1-0.4113z^{0.5}+0.04052z+0.001753z^{1.5})}{(1-0.4177z^{0.5}+0.05729z-0.006205z^{1.5}+0.001210z^2)}$$

dimana z merupakan nilai kedalaman tanah (m) yang ditinjau.

3. Menghitung CSR

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma'} r_d$$

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

- 1) Menentukan nilai $(N_1)_{60}$.

Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) memberikan koreksi-koreksi untuk memperoleh nilai $(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$$

Karena adanya peningkatan nilai N-SPT dengan meningkatkan tegangan *overburden* efektif, faktor koreksi tegangan *overburden* harus digunakan (Seed dan Idriss, 1980). Faktor ini umumnya digunakan dari persamaan berikut (Seed dan Idriss, 1982):

$$C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma'_v}{P_a})}$$

Dimana nilai C_N tidak boleh melebihi dari 1,7, sedangkan untuk nilai faktor koreksi (normalisasi) nilai *Standard Penetration Test* (SPT).

- 2) Menentukan nilai $(N_1)_{60cs}$.

Menentukan *finer content* (FC) kemudian nilai $(N_1)_{60cs}$ yang dipengaruhi oleh nilai *finer content* itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001):

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

Dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase *finer content* (FC) :

$\alpha = 0, \beta = 1, \quad FC \leq 5\%$
 $\alpha = \exp [1,76-(190/FC^2)] \quad 5\% < FC < 35\%$
 $\beta = [0,99-(FC^{1,5}/1000)] \quad 5\% < FC < 35\%$
 $\alpha = 5, \beta = 1,2 \quad FC \leq 35\%$

3) Menentukan nilai $CRR_{7,5}$.

Menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w) 7.5 dan pasir murni dengan $(N_1)_{60cs} < 37,5$ (Youd dan Idriss, 2001):

$$CRR_{7,5} = \exp \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \frac{(N_1)_{60cs}^2}{126} - \frac{(N_1)_{60cs}^3}{23.6} + \frac{(N_1)_{60cs}^4}{25.4} - 2.8 \right]$$

Jika $(N_1)_{60cs} > 37,5$ maka tanah tersebut tidak perlu dievaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi adalah ketika $(N_1)_{60cs} < 37,5$. Jika $(N_1)_{60cs} < 37,5$ maka tanah tersebut kuat menahan beban *seismic* yang dapat diwakilkan dengan nilai $CRR_{7,5} = 2$.

5. Menghitung nilai Faktor keamanan (FS)

Dalam menganalisa potensi terjadi likuifaksi harus diketahui factor keamanan (FS) yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

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

Jika $FS < 1$ (terjadi Likuifaksi)
 Jika $FS = 1$ (kondisi kritis)
 Jika $FS > 1$ (tidak terjadi Likuifaksi)

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan nilai FS maka pada tahap terakhir yaitu melakukan kesimpulan. Nilai Fs yang kurang dari 1 maka lapisan tanah tersebut terjadi likuifaksi sedangkan nilai yang lebih dari 1 maka lapisan tanah tersebut aman dari potensi terjadinya likuifaksi.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisa likuifaksi dilakukan pada setiap lapisan tanah yang dilakukan pengujian SPT, pada penelitian ini ada 11 titik pengeboran dengan masing-masing kedalaman 20 m. Pengujian SPT dilakukan setiap kedalaman 1,5 m pada pengambilan N-SPT pertama sedangkan pengambilan N-SPT yang kedua dan seterusnya dilakukan pada setiap

kedalaman 2 meter. Perhitungan likuifaksi hanya dilakukan pada kondisi yang memenuhi kriteria, yaitu pada tanah yang berpasir dan kondisi jenuh air. Ada beberapa langkah untuk menganalisa potensi likuifaksi, penulis mengambil titik BH-1 pada kedalaman 17,5-19,5 m sebagai contoh langkah perhitungan seperti berikut :

1. Perhitungan Potensi Likuifaksi BH-1

a. Data

- o Nomor Lapisan : 10
- o Jenis Tanah : Pasir
- o Kedalaman Lapisan : 2 m
- o (GWL) : 5,5 m
- o N-SPT : 39
- o Percepatan gempa (a_{max}) : 0,32 g

b. Tegangan Total (σ)

$$\begin{aligned} \sigma &= (h \times \gamma_{sat}) + \sigma_{lapisan \text{ atas}} \\ &= (2 \times 19,75) + 342,711 \\ &= 382,67 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tegangan Efektif (σ')

$$\begin{aligned} \sigma' &= (h \times \gamma) + \sigma'_{lapisan \text{ atas}} \\ &= (h \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)) + \sigma'_{lapisan \text{ atas}} \\ &= (2 \times (22 - 9,81)) + 220,95 \\ &= 245,33 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Reduksi Tegangan (r_d)

$$\begin{aligned} r_d &= \frac{(1 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5})}{(1 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2)} \\ &= \frac{(1 - 0,4113(11,5)^{0,5} + 0,04052(11,5) + 0,001753(11,5)^{1,5})}{(1 - 0,4177(11,5)^{0,5} + 0,05729(11,5) - 0,006205(11,5)^{1,5} + 0,001210(11,5)^2)} \\ &= 0,87 \text{ m} \end{aligned}$$

e. *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

$$\begin{aligned} CSR &= 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma}{\sigma'} \right) \times r_d \\ &= 0,65 \left(\frac{0,32 \text{ g}}{g} \right) \times \left(\frac{382,211}{245,33} \right) \times 0,62912 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

f. Faktor Koreksi ($(N_1)_{60}$)

$$C_N = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{\sigma'}{Pa})} = \frac{2,2}{(1,2 + \frac{245,33}{98,066})} = 0,59$$

$$C_E = 1$$

$$C_B = 1$$

$$C_R = 0,75$$

$$C_S = 1$$

$$\begin{aligned} (N_1)_{60} &= N_m C_N C_E C_B C_R C_S \\ &= 39 \times 0,59 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\ &= 17,38 \end{aligned}$$

g. Menentukan $(N_1)_{60cs}$

Diambil ($F_c = 5\%$, $\alpha = 0$, $\beta = 1$)

$$\begin{aligned} (N_1)_{60cs} &= \alpha + \beta \times (N_1)_{60} \\ &= 0 + 1 \times 17,38 \end{aligned}$$

$$= 17,38$$

h. *Cyclic Resistance Ratio* Pada Skala Gempa Mw 7,5 ($CRR_{7,5}$)

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{(N_2)_{600E}}{14,1} + \frac{(N_2)_{600E}^2}{126} + \frac{(N_2)_{600E}^3}{23,6} + \frac{(N_2)_{600E}^4}{25,4} + 2,8\right)$$

$$= \exp\left(\frac{28,77}{14,1} + \frac{(28,77)^2}{126} + \frac{(28,77)^3}{23,6} + \frac{(28,77)^4}{25,4} + 2,8\right)$$

$$= 0,42$$

i. Faktor Keamanan (FS)

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR}$$

$$= \frac{0,18}{0,2}$$

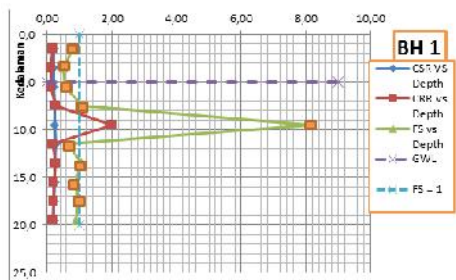
$$= 0,91 < 1 \text{ (Terlikuifaksi)}$$

Perhitungan analisa potensi likuifaksi pada titik BH-1 dapat dilihat pada tabel 1. untuk mempermudah analisa penulis juga menyajikannya dalam bentuk grafik 6.

Tabel 1. Perhitungan Analisa Likuifaksi Pada Titik BH-1

Depth (m)	Jenis	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{sub} (kN/m ³)	N-SPT	$CRR_{7,5}$	CSR	FS	L/NL
1,0	Lempung	-	16,44	8,09	0,16	0,21	0,80	NL
3,5	Lempung	-	16,00	2,00	0,10	0,24	0,49	NL
5,0	Lempung	-	16,00	1,00	0,11	0,20	0,55	NL
7,5	Lempung	20,20	10,49	21,00	0,20	0,23	1,07	NL
9,5	Lempung	22,00	12,19	35,00	2,00	0,20	8,13	NL
11,5	Lempung	19,00	9,19	15,00	0,16	0,20	0,80	NL
13,5	Lempung	21,60	11,79	28,00	0,26	0,24	1,06	NL
15,5	Lempung	20,80	10,99	20,00	0,20	0,23	0,88	NL
17,5	Lempung	21,40	11,59	27,00	0,21	0,22	0,98	NL
19,5	Pasir	22,00	12,19	39,00	0,18	0,20	0,87	L

Catatan: L = Likuifaksi
 NL = Non Likuifaksi
 = Ground Water Level (GWL)

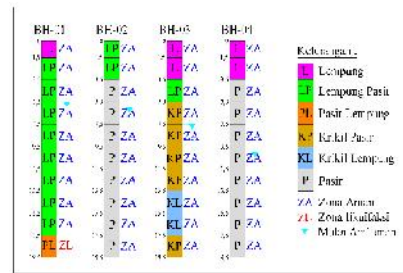


Gambar 4. Grafik CRR, CSR, FS vs Depth Pada BH-1

Sumber : Analisa Penulis, 2017

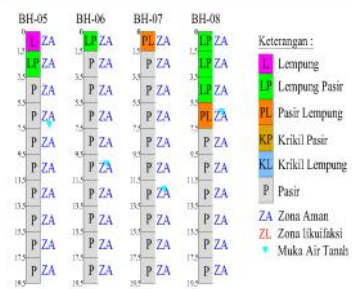
j. Resume Hasil Perhitungan

Hasil analisa potensi likuifaksi pada semua titik, hanya pada titik BH-1 dikedalaman 17,5-19,5 m yang terjadi likuifaksi hal tersebut dapat dilihat pada stratifikasi tanah pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 dibawah ini



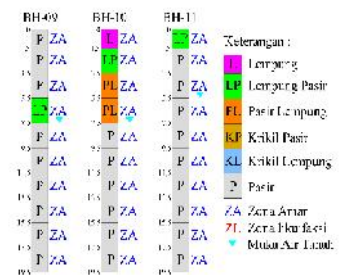
Gambar 5. Penampang Stratifikasi Tanah Pada Titik Pengujian BH1, BH2, BH3, BH4

Sumber : Analisa Penulis, 2017



Gambar 6. Penampang Stratifikasi Tanah Pada Titik Pengujian BH1, BH2, BH3, BH4

Sumber : Analisa Penulis, 2017



Gambar 7. Penampang Stratifikasi Tanah Pada Titik Pengujian BH1, BH2, BH3, BH4

Sumber : Analisa Penulis, 2017

Setelah melakukan perhitungan pada keseluruhan titik maka penulis merangkum hasilnya dalam bentuk tabel 2. Hasil analisa penulis hanya pada BH-1 dilapisan 17,5-19,7 m yang terjadi likuifaksi sedangkan pada titik yang lain aman terhadap bahwa potensi likuifaksi

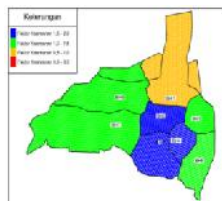
Tabel 2. Resume Hasil Potensi Likuifaksi

No	Titik Lokasi	Kedalaman	Keterangan
1	BH 1	17,5-19,5	Likuifaksi
2	BH 2	1-19,5	Tidak Likuifaksi
3	BH 3	1-19,5	Tidak Likuifaksi
4	BH 4	1-19,5	Tidak Likuifaksi
5	BH 5	1-19,5	Tidak Likuifaksi
6	BH 6	1-19,5	Tidak Likuifaksi
7	BH 7	1-19,5	Tidak Likuifaksi
8	BH 8	1-19,5	Tidak Likuifaksi
9	BH 9	1-19,5	Tidak Likuifaksi
10	BH 10	1-19,5	Tidak Likuifaksi
11	BH 11	1-19,5	Tidak Likuifaksi

Sumber : Hasil Analisa Penulis, 2017

Untuk mempermudah analisa potensi likuifaksi, penulis membuat peta zona likuifaksi pada gambar 10. Warna biru merupakan tanah yang memiliki nilai faktor keamanan 1,5-2,0 sedangkan warna hijau memiliki nilai faktor keamanan 1,0-1,5. Warna kuning adalah tanah yang memiliki faktor kemanan 0,5-1,0 sedangkan warna merah merupakan nilai faktor kemanan yang memiliki faktor kemanan 0-0,5. Warna biru dan hijau adalah tanah yang aman terhadap likuifaksi sedangkan warna kuning dan merah merupakan tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi.

Berdasarkan peta zona likuifaksi hanya pada titik BH-1 yang berwarna kuning itu berarti hanya titik BH-1 yang terjadi likuifaksi sedangkan pada titik yang lain berwarna hijau dan biru, hal tersebut dapat disimpulkan pada titik pengujian yang lain aman terhadap potensi terjadi likuifaksi.



Gambar 8. Peta Zona Likuifaksi

Sumber : Analisa Penulis, 2017

C. Pencegahan Likuifaksi

Berdasarkan analisa data diperoleh hasil bahwa daerah yang ditinjau terjadi likuifaksi hanya pada BH-1 kedalaman 17,5 -19,5 m maka dari itu perlu dilakukan pencegahan sejak dini untuk menghindari terjadinya likuifaksi. Pencegahan likuifaksi dapat dilakukan beberapa metode, antara lain :

1. Meningkatkan tegangan vertical

2. Melakukan *dewatering*
3. Pemadatan tanah
4. Membuang lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi
5. Membuat pondasi dalam (tiang pancang) yang melewati lapisan yang terjadi likuifaksi

Likuifaksi yang terjadi pada titik pengujian terjadi pada tanah dalam yaitu pada kedalaman 17,5 – 19,5 m maka dari kelima metode diatas nomor lima merupakan solusi yang tepat untuk dilakukan. Pada saat terjadi likuifaksi tanah akan kehilangan tegangan efektif yang berfungsi untuk menahan beban bangunan yang berada diatasnya, sehingga bangunan akan amblas bahkan miring akibat penurunan tanah tersebut. Ketika tanah kehilangan tegangan efektifnya, beban bangunan akan ditopang oleh tiang pancang menuju tanah keras sehingga walaupun tanah terjadi likuifaksi struktur bangunan akan tetap berdiri tidak terpengaruh oleh likuifaksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dari data SPT dengan jumlah 11 titik maka dapat diambil kesimpulan mengenai analisis potensi likuifaksi pada Proyek Gedung Baru Untirta yang berlokasi di Desa Sindang Sari, Kab. Serang sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisa profil tanah pada lokasi penelitian, tanah tersebut dominan tanah pasir keras dan padat, hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai rata-rata nilai N-SPT yang cukup besar.
2. Nilai CSR pada lokasi penelitian memiliki nilai cukup besar, hal tersebut terjadi karena nilai percepatan gempa yang diperoleh dari perhitungan NERA memiliki nilai rata-rata lebih dari 0,2 g. Nilai CRR memiliki nilai yang cukup besar, faktor utama yang menyebabkan hal tersebut terjadi adalah nilai N-SPT yang bernilai cukup besar hampir pada keseluruhan titik yaitu >60.
3. Berdasarkan perhitungan faktor keamanan (FS) pada Lokasi pembangunan proyek gedung baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang terletak di Desa Sindang Sari, Kab. Serang dapat disimpulkan

bahwa hanya pada titik BH-1 dikedalaman 17,5-19,5 m yang terjadi likuifaksi yaitu dengan nilai 0,91 ($FS < 1$), sedangkan pada titik yang lain aman terhadap bahaya likuifaksi, hal tersebut dibuktikan dengan nilai $FS > 1$.

B. Saran

Analisa likuifaksi yang dilakukan oleh penulis menghasilkan kesimpulan bahwa lokasi pembangunan gedung baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa berpotensi terjadi likuifaksi pada titik BH-1 sehingga diperlukan rekayasa untuk mencegah hal tersebut terjadi. Berdasarkan analisa bahwa lokasi yang terjadi likuifaksi terletak pada lapisan tanah dalam, menurut penulis rekayasa yang tepat untuk menanggulangi hal tersebut yaitu dengan melakukan pemancangan hingga tanah keras yang melewati lapisan yang terjadi likuifaksi sehingga ketika terjadi likuifaksi beban bangunan akan ditopang oleh pondasi menuju tanah keras.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis hanya sebatas menggunakan pendekatan nilai N-SPT. Pada penelitian kedepannya perlu juga diperlukan juga analisa likuifaksi dengan pendekatan yang lain seperti dengan data sondir, data Vs dan lainnya sehingga dapat dibandingkan perhitungan yang lebih akurat diantara semua metode pendekatan analisa likuifaksi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, SNI 1726: 2012, Jakarta.
- Bardet J. P. Dan T.Tobita, 2001, *A Computer Program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*, University Of Southern California
- Hedri, Gusti Putra, Abdul Hakam, Dody Lastaruna., 2009, *Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir*, Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 5 No 1.
- Hendriyawan, N, Analisis Site Specific Dengan Bantuan Software Nera. Bahan Ajar Kuliah, Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Ikhsan, Rifa., 2011, *Analisis Potensi Likuifaksi dari Data CPT dan SPT dengan Studi Kasus PLTU Ende Nusa Tenggara Timur*, Universitas Indonesia, Depok
- Kusuma, Rama Indera, Enden Mina, and Nuri Kurniawan. "Analisa Potensi Likuifaksi Dari Data Cpt (Studi Kasus Sinter & Coke Plant Area Krakatau Posco)." *JURNAL FONDASI* 3.1 (2017).
- Lonteng, Christian V. D., Balamba S., Monintja S., Sarajar A.N., 2011, *Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai, Padang)*, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Mabrur, Muhammad., 2012, *Analisa Potensi Likuifaksi pada Area Apron Bandar Udara Medan Baru*, Skripsi, Universitas Sumatra Utara, Medan (tidak diterbitkan).
- Santosa Budi, Heri Suprpto, Suryadi H., 2014, *Seri Diktat Kuliah Dasar Mekanika Tanah*, Universitas Gunadarma.
- Situmorang, Astri Natalia., *Analisa Potensi Likuifaksi pada Pembangunan Sei Batang Serangan- Langkat*, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Soleman, M. Khifni, Fitri Nurcahyadan Sri Lestari Munajati., 2011, *Pemetaan Multirawan Bencana Di Provinsi Banten*, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, Jakarta.
- Steven L. Kramer., 1994, *Geotechnical Earthquake Engineering*, New Jersey, Uppersaddle River.
- <https://www.bmkg.go.id>
<http://www.earthquakeengineering.com>
<https://www.maps.google.co.id>
<https://www.puskim.pu.go.id>
<https://www.strongmotioncenter.org>