

PERBAIKAN TANAH DASAR YANG BERPOTENSI TERJADI LIKUEFAKSI DENGAN METODE *STONE COLUMN* PADA JUNCTION TEBING TINGGI

Andri Krisnandi Somantri^{1*}, Aditia Febriansya¹, Denira Putri R¹, Rd. Nurul Fitriani A¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

*E-Mail penulis korespondensi: andri_krisnandi@polban.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas lempeng Indo-Australia dan Eurasia sering menimbulkan gempa. Jenis tanah yang berada pada *Junction* Tebing Tinggi adalah pasir sedikit lanau dengan konsistensi yang sangat lepas. Nilai N-SPT pada BH 15-BH 18 sekitar 0-4 pada kedalaman 3 m-15,3 m dengan muka air tanah di kedalaman 1,2 m di bawah tanah dasar *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara membuat tanah pada daerah tersebut berpotensi likuefaksi. Analisis potensi likuefaksi yang penulis lakukan digunakan dengan tiga metode yaitu, Youd dan Idriss (2001), Robert dan Wride (1998), dan NCEER (1997) dengan menggunakan hasil CPT pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi didapatkan hasil pada kedalaman di sekitar 3,4 m-17,8 m berpotensi likuefaksi. Analisis keamanan lereng diperhitungkan dan didapat hasil factor keamanan sebesar 1,4. Berdasarkan hasil tersebut dilakukan perkuatan pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi. Tahap perkuatan dilakukan dengan menambahkan *stone column* berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 10 m berjarak 1,5 m di sepanjang tanah dasar di bawah timbunan. Dengan perencanaan tersebut, didapatkan hasil bahwa tanah dasar sudah tidak berpotensi likuefaksi dan penurunan dapat tereduksi sebanyak 48-54% serta stabilitas lereng meningkat menjadi 2,6.

Kata kunci: Gempa Bumi, Potensi Likuefaksi, Youd dan Idriss, Robertson dan Wride, NCEER, *Stone Column*

ABSTRACT

The activity of the Indo-Australian and Eurasian plates often causes earthquakes. The type of soil located at the Tebing Tinggi Junction is slightly silty sand with a very loose consistency. The N-SPT value at BH 15-BH 18 is around 0-4 at a depth of 3 m-15,3 m with a groundwater level at a depth of 1,2 m below the subgrade of Tebing Tinggi Junction, North Sumatra, making the soil in the area potentially liquefied. The liquefaction potential analysis that the authors carried out used three methods, namely, Youd and Idriss (2001), Robert and Wride (1998), and NCEER (1997) using CPT results on the subgrade of the Tebing Tinggi Junction embankment. 4 m-17,8 m potential for liquefaction. The safety analysis was considered, and the results were obtained safety factor of 1,4. Based on this analysis, reinforcement was carried out on the subgrade of the Tebing Tinggi Junction embankment. The reinforcement phase was carried out by adding a stone column with a diameter of 1,2 m with a depth of 10 m with 1,5 m along the subgrade under the embankment. With this planning, the result is that the subgrade has no potential for liquefaction and the settlement can be reduced as much as 48-54% and the slope stability increases to 2,6.

Keywords: Earthquake, Liquefaction Potential, Youd and Idriss, Robertson and Wride, NCEER, *Stone Column*

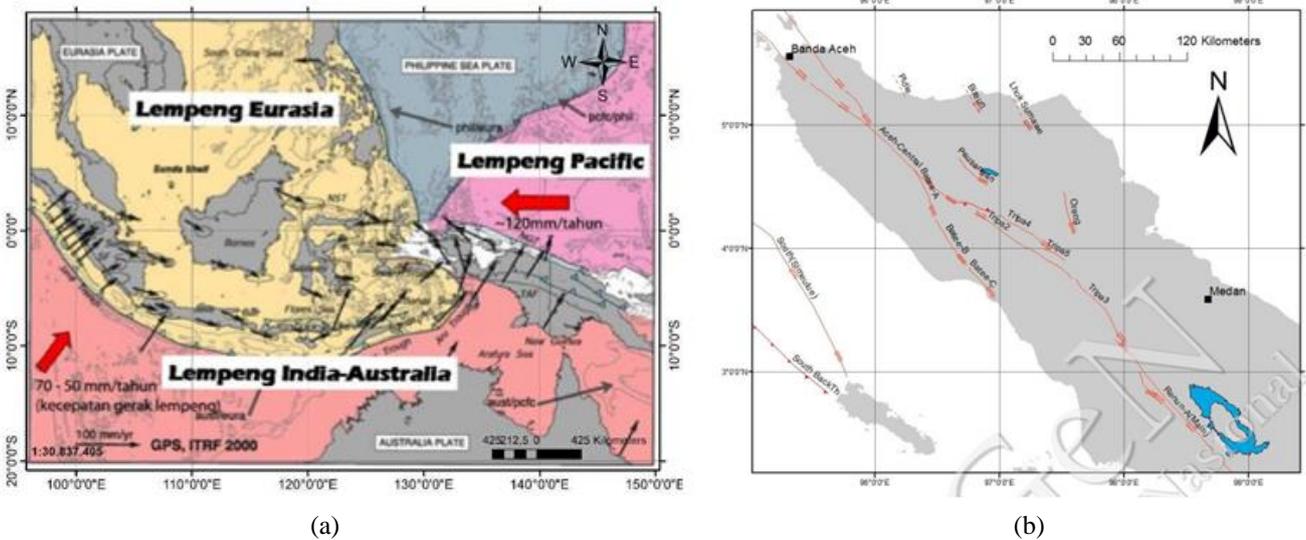
1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia adalah salah satu negara yang sering terjadi gempa bumi. Terjadinya gempa bumi di Indonesia dikarenakan Indonesia merupakan tempat dimana terdapatnya pertemuan dari lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng India-Australia seperti pada Gambar 1a.

Gempa bumi menimbulkan efek sekunder atau proses non tektonik di permukaan yang berkaitan langsung dengan gempa bumi. Salah satu efek sekunder tersebut adalah terjadinya fenomena pencairan tanah akibat beban siklik yang dikenal dengan likuefaksi [2]. Likuefaksi merupakan proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang nilainya menjadi sama dengan tekanan total diakibatkan terjadinya beban dinamik, seperti gempa bumi, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol [3]. Likuefaksi merupakan fenomena di mana tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) serta kekakuan (*stiffness*) dalam waktu yang singkat. Likuefaksi menjadi penyebab dari banyaknya kerusakan, kematian, dan kerugian ekonomi yang besar.

Likuefaksi biasanya terdapat pada tanah pasir. Jenis tanah pasir ini ditemukan di *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara yang penulis tinjau dimana memungkinkan terjadi likuefaksi saat gempa terjadi. Fenomena likuefaksi ini memberikan dampak yang sangat merugikan bagi konstruksi, pada daerah Sumatera Utara ini sedang berlangsung salah satu konstruksi pembuatan jalan tol. Dampak dari likuefaksi sangat merugikan salah satunya yaitu mengakibatkan bangunan yang berada di atasnya ikut bergerak dan mengakibatkan kerusakan seperti halnya yang terjadi saat gempa bumi dan tsunami di kota Palu yang mengalami proses

pencairan dan membuat tanah ikut bergerak.



Gambar 1. Lempeng aktif di wilayah Indonesia (a), Sesar aktif di Sumatera Utara (b) [1]

Sumatera Utara adalah salah satu wilayah di negara Indonesia yang dilewati oleh sesar aktif serta berpotensi mengalami gempa bumi jika terjadinya bertabrakannya dua sesar. Sesar aktif di Sumatera Utara, yaitu sesar Sumatera. Sesar Sumatera ini meliputi Segmen, Seulimeum-North, Aceh-North dan Nicobar yang terletak di bagian paling utara Pulau Sumatera, dapat dilihat pada Gambar 1b.

Tabel 1. Resume Pengeboran dan SPT BH-18

No Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Deskripsi Tanah	N _{SPT}
1	0.00 – 3.30	3.30	Lempung, warna abu kekuningan, konsistensi lunak ke sedang, kadar air sedang ke tinggi dan plastisitas rendah ke sedang	4
2	3.30 – 7.25	3.95	Pasir halus ke sedang sedikit Lanau, warna abu-abu, konsistensi lepas ke sangat lepas, kadar air tinggi dan non plastis.	3
3	7.25 – 15.30	8.05	Pasir halus ke sedang sedikit Lempung, warna abu-abu, konsistensi sangat lepas, kadar air tinggi dan plastis sangat rendah.	2
4	15.30 – 23.40	8.10	Pasir sedang bercampur batu Apung sedikit Lanau, warna abu-abu, konsistensi lepas ke padat, kadar air tinggi dan plastis sangat rendah ke non plastis.	17
5	23.40 – 30.50	7.10	Pasir berlanau bercampur batu Apung, warna abu-abu keputihan, konsistensi sangat padat, kadar air tinggi dan plastis rendah.	>50

Dapat dilihat pada Tabel 1, nilai N_{SPT} pada BH-18 teridentifikasi tanah pasir sedikit lanau sangat lepas dengan nilai N_{SPT} 2-4 pada kedalaman 3,00 m - 15,30 m serta muka air tanah pada elevasi -1,20 m di bawah permukaan tanah dasar (subsoil). Tanah dasar ini nantinya akan ditimbun dan akan menjadi jalan tol penghubung Kuala Tanjung-Tebing Tinggi-Parapat. Dilihat dari nilai N_{SPT} dan muka air yang rendah, tanah dasar ini berpotensi mengalami likuefaksi. Metode yang digunakan untuk memperbaiki tanah yang berpotensi likuefaksi ini salah satunya dengan metode *stone column*.

Material *stone column* dapat berupa pasir dan kerikil alam, batu pecah atau material daur ulang, seperti hancuran batu bata atau beton. *Stone column* adalah upaya perbaikan tanah dengan penggalian yang dilakukan untuk mengganti sebagian tanah yang akan digunakan sebagai dasar konstruksi dengan kolom vertikal yang dipadatkan. *Stone column* berfungsi sebagai berikut:

1. Meningkatkan daya dukung tanah,
2. Mengurangi penurunan total (*total settlement*) tanah,
3. Mengurangi waktu konsolidasi,
4. Serta, mengurangi bahaya potensi likuefaksi [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Lindung Zalbuin Mase (2018) pada artikelnya menjelaskan tentang analisis potensi likuefaksi berdasarkan data SPT menggunakan metode empiris yang di dalam penelitiannya, metode Idriss-Bouglanger yang merupakan metode yang paling mendekati dalam mengestimasi kesesuaian prediksi dan kejadian di lapangan [5].

Markus dan Aksan Kawanda (2020) membandingkan CSR dan CRR dengan metode Seed et al (2003), Tsuchida (1970), dan Bray & Sancio (2004). Dengan tiang pancang, daya dukung aksial berkurang 32% akibat tanah yang terlikuefaksi. Dengan efek *lateral spreading* dihitung dengan acuan JRA Code [6]. A K Somantri dkk (2020) menjelaskan tentang perkuatan fondasi pada jembatan yang berpotensi terjadi likuefaksi menambahkan 8 tiang pancang pada konfigurasi tiang untuk masing-masing fondasi agar jembatan dapat beroperasi dengan aman [7].

Anhar, Rangga, Hamdhan, dan Indra Noer (2016) menggunakan perhitungan numerik menggunakan Plaxis 2D dengan variasi kedalaman *Stone column* dengan tipe sejajar, tipe tangga, dan tipe piramida [8]. Iskandar, Fauziah Fitriani, Hamdhan, dan Indra Noer (2016) menggunakan program Plaxis 2D dengan model *Axisymmetric* dengan memvariasikan jarak dan diameter antar *Stone column* dengan hasil analisis terjadinya pengurangan penurunan total hingga 80% dan pengurangan waktu hingga 2367 hari [9].

2.1 Gempa Bumi

Indonesia termasuk ke dalam daerah yang rawan gempa. Dikarenakan Indonesia memiliki beberapa lempeng dan sesar, maka gempa bumi bukan hal yang awam lagi karena gempa bumi bisa terjadi dikarenakan bertabrakannya dua lempeng sehingga patah secara mendadak dan melepaskan energi yaitu getaran yang dikenal dengan gempa bumi. Sebenarnya, jika dua lempeng bertemu dengan suatu sesar, kedua lempeng itu bisa saling mendekat, menjauh, atau saling bergeser. Setiap tahunnya, gerakan ini sebenarnya bergerak lambat. Namun, tidak dirasakan oleh manusia. Pergerakan lempeng ini berkisar 0-15 cm per tahunnya.

2.2 Likuefaksi

Likuefaksi adalah suatu proses berubahnya sifat tanah dari keadaan padat menjadi cair yang disebabkan oleh beban siklik pada waktu terjadinya gempa bumi. Biasanya, likuefaksi terjadi pada tanah pasir atau tanah yang partikel-partikelnya tidak berdekatan dan dekat dengan air pori di bawah tanahnya. Saat gempa terjadi, air pori di dalam tanah mendesak keluar dan mengubah tanah berbutir pasir menjadi cair sehingga tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya menopang bangunan atau jalan terjadilah pergeseran tanah atau disebut likuefaksi.

Terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tanah mengalami likuefaksi. Menurut Day (2002) berdasarkan hasil pengujian laboratorium serta observasi dan studi lapangan, terdapat beberapa faktor penyebab terjadinya tanah mengalami likuefaksi, diantaranya:

1. Intensitas, durasi, dan karakteristik gempa bumi
2. Muka air tanah
3. Jenis tanah
4. Kepadatan relatif awal (*Initial relative density*)
5. Gradasi dan analisis butiran tanah
6. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan
7. Histori Lingkungan

Metode umum untuk mengevaluasi potensi likuefaksi diusulkan oleh Seed dan Idriss (1967, 1971). Langkah-langkah dalam evaluasi potensi likuefaksi diantaranya menentukan jenis tanah, elevasi muka air tanah, *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), dan *Safety of Factor* (SF).

2.2.1 *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

CSR adalah tegangan siklik yang ditimbulkan oleh beban gempa yang akan menyebabkan terjadinya likuefaksi [8] Berdasarkan rekomendasi dari Seed dan Idriss (1971) dan Liao dan Whitman (1986) merumuskan perhitungan nilai CSR suatu tanah berdasarkan persamaan berikut:

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_v}{g \times \sigma_v'} \right) \times \gamma d$$

dimana:

CSR = Nilai tegangan siklik akibat beban gempa

σ_v = Tegangan vertikal total

α_{max} = Percepatan puncak horizontal di permukaan

σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah yang ditimbulkan oleh gempa bumi

rd = Faktor reduksi tegangan

g = Percepatan gravitasi bumi

Dalam menentukan faktor reduksi tegangan yang dikemukakan oleh Blake (1996), dapat dilihat seperti berikut:

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0,000765z & z \leq 9,15 \text{ m} \\ r_d &= 1,174 - 0,0267z & 9,15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0,744 - 0,008z & 23 \text{ m} \leq z \leq 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimana nilai z merupakan kedalaman di bawah permukaan tanah yang dinyatakan dalam satuan meter.

2.2.2 Cyclic Resistance Ratio (CRR)

CRR merupakan singkatan dari *Cyclic Resistance Ratio*. CRR dapat diartikan menjadi kemampuan tanah untuk menahan proses likuefaksi. Dalam menentukan nilai CRR dapat dihitung menggunakan data hasil uji SPT, uji Sondir (CPT), pengukuran kecepatan gelombang geser (V_s). Namun di antara ketiga metode tersebut, metode CPT memiliki kualitas data yang sangat baik.

A. Menentukan Nilai Q

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

$$Q = \left[\frac{q_c - \sigma_v'}{P_a} \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^n \right]$$

Nilai eksponen n, untuk *clean sand* $n = 0,5$. Untuk nilai *silt* dan *silty sand* $n = 0,5 - 1$, dan untuk jenis tanah lempung $n = 1$. Berdasarkan Metode NCEER (1997) [9] dan Robertson dan Wride (1998) [10]

$$Q = \left[\frac{q_c - \sigma_v'}{\sigma_v'} \right]$$

Dimana:

- Q = Tahanan penetrasi yang dinormalisasikan
- q_c = Tahanan penetrasi konus
- P_a = Tekanan 1 atm

B. Menentukan Nilai F

$$F = \left[\frac{f_s}{q_c - \sigma_v'} \right] \times 100\%$$

Dimana:

- F = Friksi rasio yang dinormalisasikan
- f_s = Friksi rasio

C. Menentukan Nilai Ic

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

D. Menentukan qc_1N

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

$$qc_1N = Cq \times \left(\frac{q_c}{P_a} \right)$$

Berdasarkan Metode NCEER (1997) dan Robertson dan Wride (1998)

$I_c > 2,6$, maka $qc_1N = Q$

$$I_c < 2,6 \text{ maka } qc_1N = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^{0,5}$$

Lanjut perhitungan nilai Ic

$$I_c = [(3,47 - \log qc_1N)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5}$$

qc_1N = Nilai tahanan ujung terkoreksi

- Cq = Faktor normalisasi tahanan ujung konus
- $= \left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^n$

E. Perhitungan Faktor Koreksi untuk Karakteristik Butir

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

$I_c < 1,64$, maka $K_c = 1,0$

$I_c > 1,64$, maka

$$K_c = -0,4031c^4 + 5,581c^3 - 21,63c^2 + 33,75c - 17,88$$

Berdasarkan Metode NCEER (1997)

$I_c > 2,6$, maka qc_1N dan Ic harus diperhitungkan kembali dengan rumus:

$$qc_1N = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_v'} \right)^{0,75}$$

$$I_c = [(3,47 - \log qc_1N)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,75}$$

$I_c < 2,6$, maka dihitung nilai

$$K_c = -0,4031c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88 \text{ (untuk } I_c > 1,64),$$

$$K_c = 1 \text{ (untuk } I_c < 1,64)$$

Berdasarkan Metode Robertson dan Wride (1998)

$I_c > 2,6$, maka qc_{1N} dan I_c harus diperhitungkan kembali dengan rumus:

$$qc_{1N} = \left(\frac{qc}{Pa_2}\right)\left(\frac{Pa}{\sigma_{vt}}\right)^{0,75}$$

$$I_c = [(3,47 - \log qc_{1N})^2 + (1,22 + \log F)2]^{0,75}$$

Jika $I_c < 2,6$, untuk menghitung K_c menggunakan

$$I_c \leq 1,64, \text{ maka } K_c = 1$$

$$I_c > 1,64, \text{ maka } K_c = -0,4031c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88$$

Tapi, jika $1,64 < I_c < 2,36$ dengan $F < 0,5\%$, $K_c = 1$

F. Perhitungan $(qc_{1N})_{cs}$

$$(qc_{1N})_{cs} = K_c \times qc_{1N}$$

G. Menentukan CRR

Berdasarkan Metode Youd dan Idriss (2001)

Jika nilai $(qc_{1N})_{cs} < 211$, maka

$$CRR_{7,5} = \exp\left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{540}\right) + \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{67}\right)^2 - \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{80}\right)^3 + \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{114}\right)^4 - 3$$

Jika nilai $(qc_{1N})_{cs} > 211$, maka $CRR = 2$

Berdasarkan Metode Robertson dan Wride (1998) dan NCEER (1997)

Jika, $50 < (qc_{1N})_{cs} < 160$, maka

$$CRR_{7,5} = 93 \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{1000}\right)^3$$

Jika, $(qc_{1N})_{cs} < 50$, maka

$$CRR_{7,5} = 0,833 \left(\frac{(qc_{1N})_{cs}}{1000}\right) + 0,005$$

2.2.3 Safety Factor (SF)

Nilai SF dari hasil perhitungan manual dan dari metode elemen hingga diharapkan sesuai dengan rekomendasi SNI 8460:2017 yaitu $SF = 1,1$ untuk beban gempa [11]. Perhitungan faktor keamanan likuefaksi dengan menggunakan persamaan:

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

dimana:

SF = Faktor Keamanan

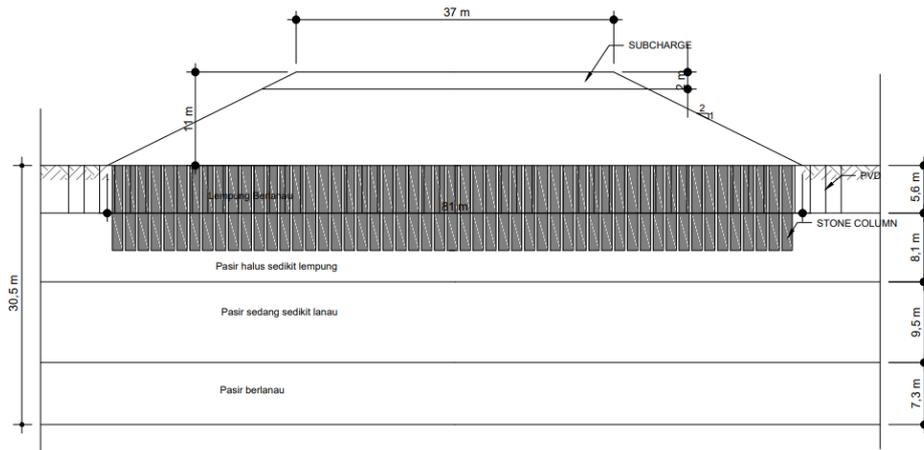
CSR = Tegangan siklik oleh gempa bumi

CRR = Kemampuan tanah untuk menahan potensi likuefaksi

2.3 Stone Column

Stone column adalah teknik perbaikan tanah lunak yang digunakan untuk menaikkan daya dukung tanah, mengurangi penurunan segera (*settlement*), mempercepat pemampatan, dan mengurangi terjadinya likuefaksi yang ditemukan oleh Louis Menard di *France* pada tahun 1960 [12].

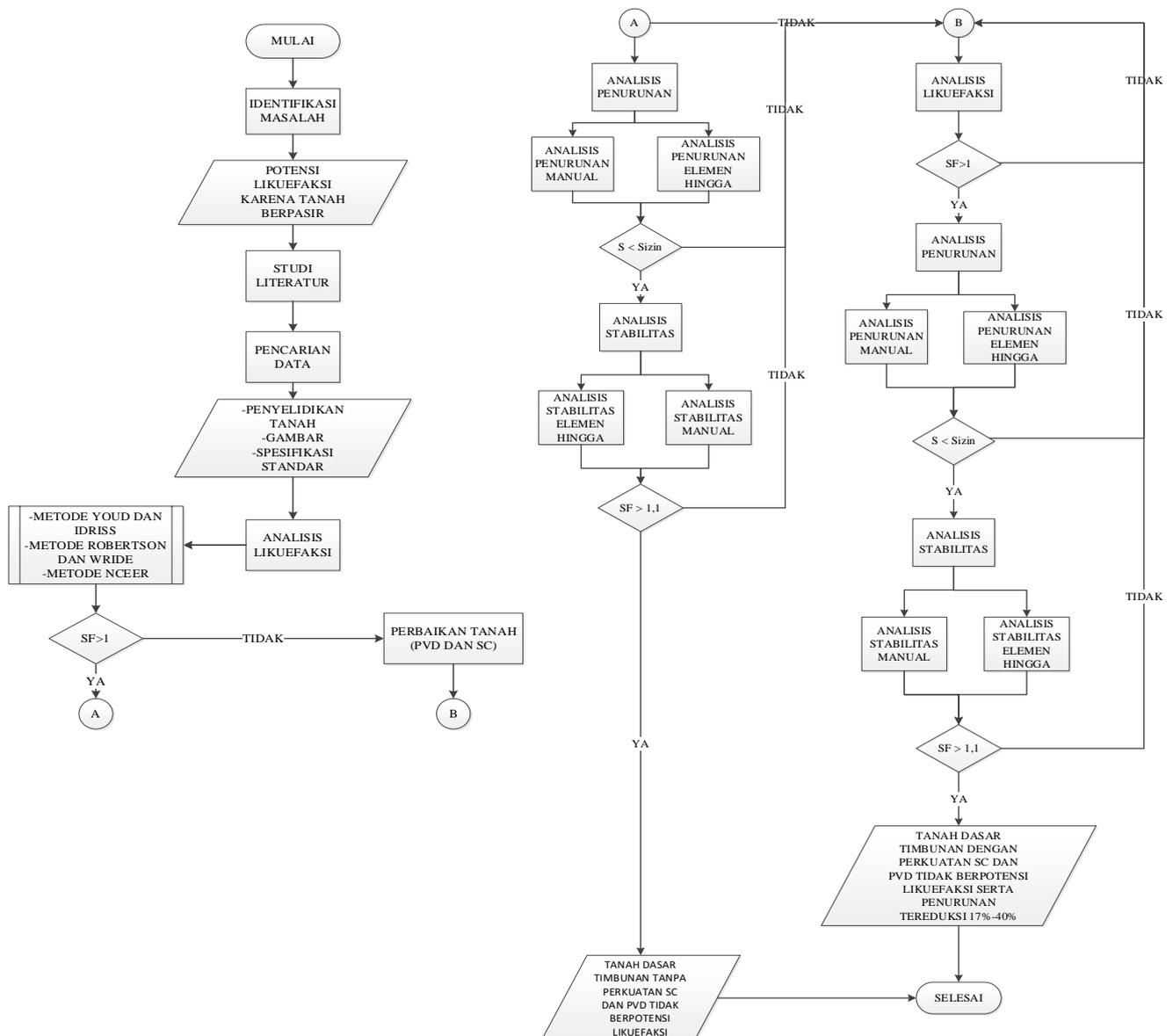
Stone column dapat mengurangi terjadinya likuefaksi dikarenakan saat proses pengisian batuan, terjadi kontraksi pada lapisan tanah lunak sekitarnya yang menyebabkan tekanan pori terlepas berangsur-angsur. *Stone column* murni terdiri dari bahan batuan/kerikil lepas dan tidak ada bahan pengikat lainnya seperti semen, kapur, atau zat kimia lainnya. Material yang digunakan untuk membentuk *stone column* harus sesuai dengan peralatan yang digunakan serta dapat disalurkan dengan baik dengan metode penghubung bawah ataupun penghubung atas. Jarak antar kolom umumnya 1,5 - 3,5 m. Diameter kolom batuan umumnya berkisar antara 0,45 - 1,2 m. Kolom batuan sangat efektif kinerjanya bila kedalamannya 6 - 10 m [12]. Geometri model tanah dasar, timbunan dan *stone column* pada artikel ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri Model Tanah Dasar, Timbunan dan Stone Column

3. METODE PENELITIAN

Bagan alir metodologi penanganan kasus perbaikan tanah timbunan yang berpotensi terjadi likuefaksi dengan metode *stone column* dapat dilihat pada Gambar 3.

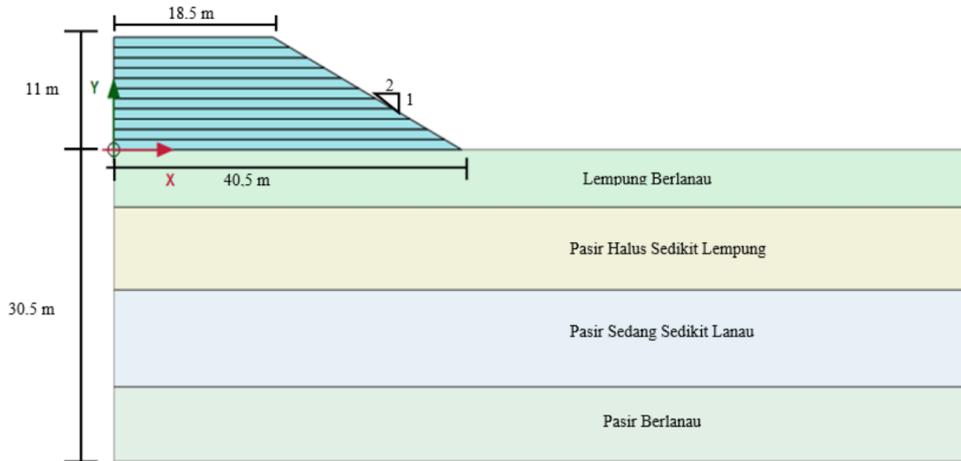


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan

Pemodelan timbunan dan tanah asli dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D, dapat dilihat pada Gambar 4. Data parameter tanah diketahui berdasarkan nilai N-SPT yang dapat dikorelasikan dengan parameter tanah lainnya yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tambahan beban gempa menggunakan metode pseudostatik. Metode ini diwakili dengan pengaruh gempa percepatan horizontal dan percepatan vertikal. Analisis metode pseudostatik menunjukkan pengaruh seismik dengan percepatan pseudostatik yang menghasilkan gaya inersia F_h dan F_v yang bekerja pada masa keruntuhan.



Gambar 4. Pemodelan Elemen Hingga

Tabel 2. Model Material Tanah

Lapisan	Satuan	1	2	3	4	5	Sumber
Jenis Tanah	-	Lempung berlanau	Pasir Halus	Pasir Sedang	Pasir berlanau	Timbunan	Data Lab
N-SPT	-	<8	<4	<50	≥60	≥60	Data Lap
Konsistensi	-	lunak ke kaku	lepas	sedang ke padat	sangat padat	sangat padat	Stratigrafi
Model Material	-	<i>Soft Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	<i>Hardening Soil</i>	-
γ_{unsat}	kN/m ²	15,876	14,788	14,788	14,788	13,63	Data Lab
γ_{sat}	kN/m ²	16,836	15,925	15,925	15,925	16,42	Data Lab
K_x	m/day	<i>from data set</i>					
K_y	m/day						
E	kN/m ²	-	5000	8000	25000	25000	Look,2007
c'	kN/m ²	6	8	8	8	3,87	parameter yang digunakan
ϕ		25	25	40	40	40,90	parameter yang digunakan

Tabel 3. Model Material Perkuatan

Pemodelan	γ_{sat}	γ_{unsat}	E'	v	c	ϕ	K_x	K_y
<i>Stone column</i>	21	20	45000	0,2	5	42	0,1045	0,0209

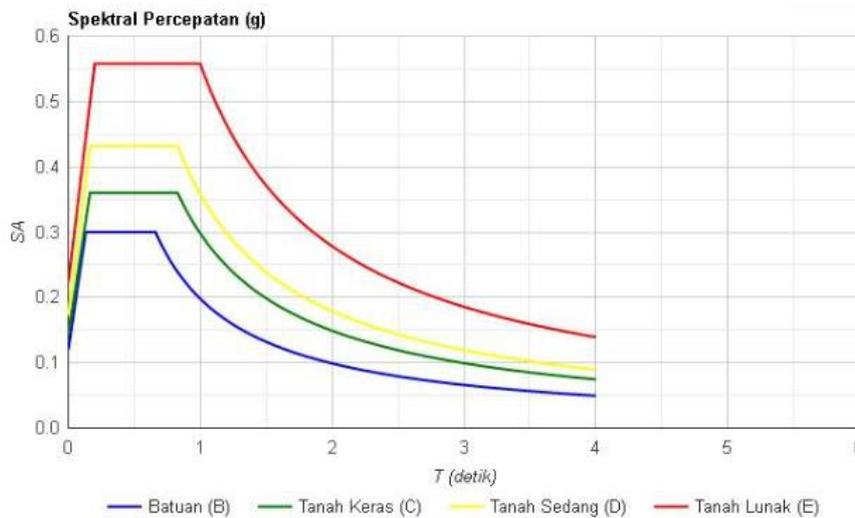
4.2 Kegempaan di Sumatera Utara

Data kegempaan di sekitar Sumatera Utara dibutuhkan dalam perhitungan analisis potensi likuefaksi. Data Kegempaan di sekitar Tebing Tinggi, Sumatera Utara dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan data kegempaan di Sumatera Utara, diambil nilai kegempaan untuk memperhitungkan likuefaksi yaitu 7,5 SR. Sesuai dengan metode Youd dan Idriss yang mengambil nilai kegempaan 7,5 SR. Nilai PGA dapat diperoleh dengan memasukkan nilai koordinat bujur dan lintang pada menggunakan aplikasi Desain Spektra Indonesia oleh Puskim. Didapatkan nilai PGA sebesar 0,209 dapat dilihat pada Gambar 5. Koefisien gempa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 K_h &= 0,5 \times \text{PGA} \\
 &= 0,5 \times 0,209 \\
 &= 0,1045 \\
 K_v &= 0,1 \times \text{PGA} \\
 &= 0,1 \times 0,209 \\
 &= 0,0209
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Data Kegempaan Wilayah Sumatera Utara

No	Tanggal	Wilayah	Magnitudo	Sumber
1.	3 November 2020	Nias Selatan	5,2	(Flora & Qodar, 2020)
2.	22 September 2019	Kec. Berstagi	2,2	(Qodar, 2019)
3.	13 Desember 2017	Parapat	4,9	(Ramdhani, 2017)
5.	16 Januari 2017	Deli Serdang	5,6	(Efendi, 2017)
7.	11 April 2012	Aceh	8,9	(Hasibuan, 2012)
8.	1 Desember 2006	Tebing Tinggi	6,3	(Burhani, 2006)

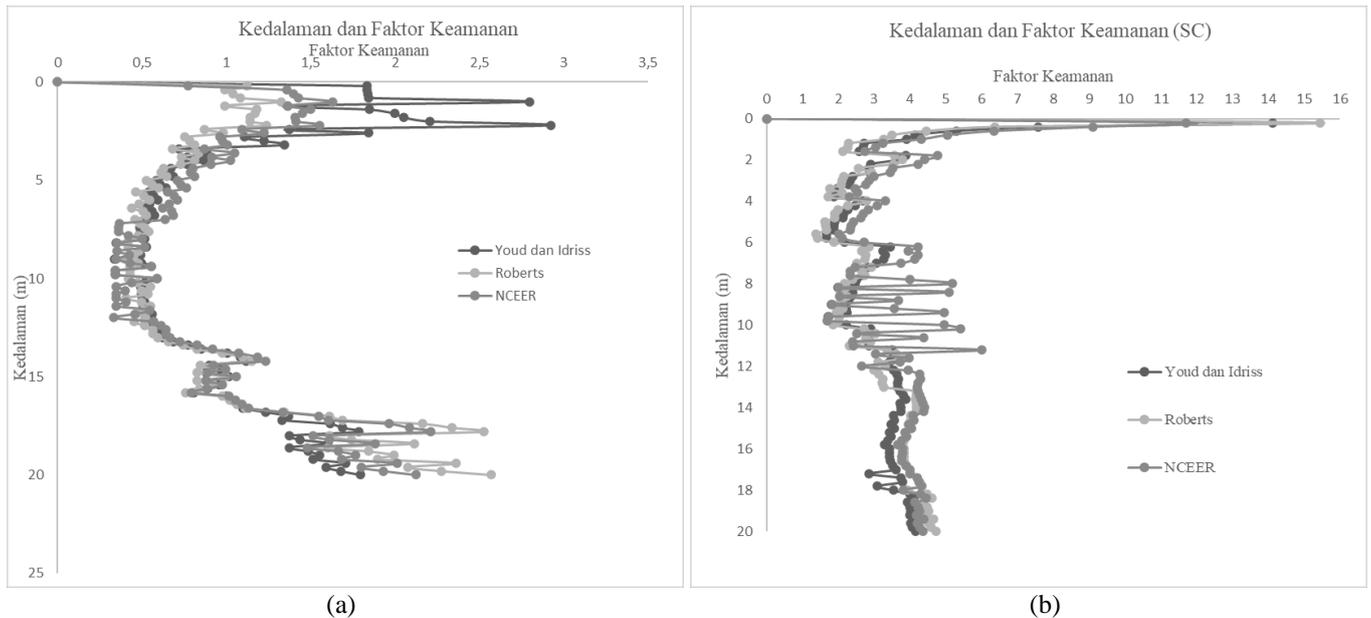


Gambar 5. Nilai PGA

4.2 Analisis Potensi Likuefaksi dengan Metode CPT

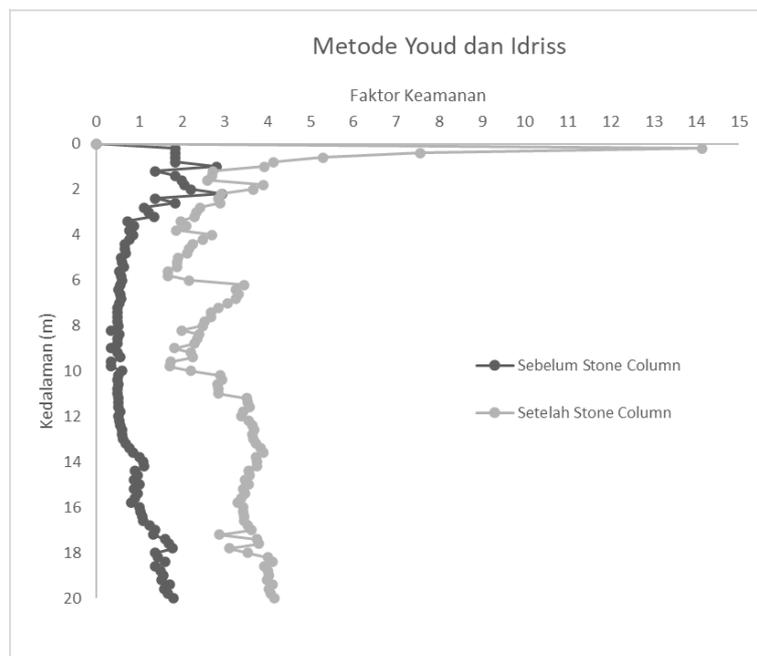
Perhitungan likuefaksi didapatkan dengan menggunakan metode CPT (Sondir). Pada setiap titik sondir dilakukan analisis yang menghasilkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Perbandingan nilai CSR dengan CRR nantinya akan menghasilkan nilai *Factor Safety* (SF). Nilai SF ini yang menentukan apakah tanah tersebut berpotensi terjadi likuefaksi atau tidak. Jika nilai $SF < 1$, maka tanah tersebut berpotensi likuefaksi dan begitu pun sebaliknya apabila Nilai $SF > 1$ maka tanah tersebut aman terhadap likuefaksi. Metode yang penulis pakai adalah metode Youd dan Idriss (2001), metode Robertson dan Wride (1998), dan metode NCEER (1997).

Hasil analisis potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan dapat dilihat masing-masing pada Gambar 6a dan Gambar 6b. Tanah yang terlikuefaksi menurut metode Youd dan Idriss (2001) terdapat pada kedalaman 3,4 m sampai dengan 13,6 m. Sedangkan, menurut Roberts tanah terlikuefaksi pada kedalaman 2,4 m sampai dengan 13,8 m. Menurut metode NCEER, pada kedalaman tanah 4,2 m. Sampai dengan 13,8 m baru terjadi likuefaksi. Dari ketiga metode tersebut yang terjadi Likuefaksi terdapat pada lapisan tanah ke 2 dan 3.



Gambar 6. Analisis Potensi Likuefaksi Metode CPT Sebelum Perbaikan (a) dan Setelah Perbaikan (b)

Dapat dilihat pada Gambar 6b di atas bahwa setelah diberi penanganan perkuatan berupa Stone column, faktor keamanan tanah dasar sampai kedalaman 20 m sudah memenuhi syarat SNI, yaitu $SF > 1$, maka dapat dikatakan tanah tidak berpotensi likuefaksi. Grafik perbandingan analisis potensi likuefaksi sebelum dan setelah perbaikan dapat dilihat pada Gambar 7.

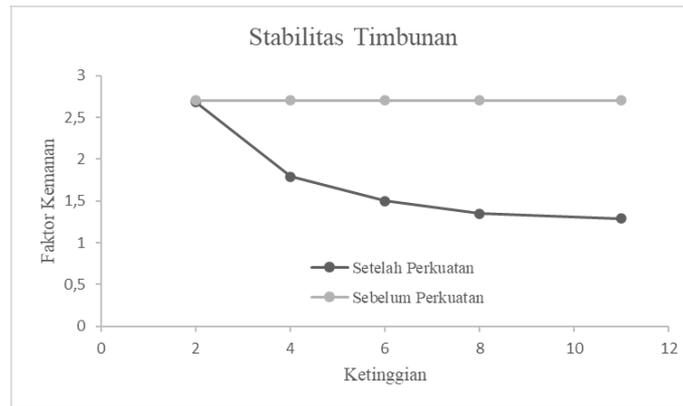


Gambar 7. Perbandingan Hasil Analisis Potensi Likuefaksi

Berdasarkan perhitungan Metode Youd dan Idriss, tanah dasar sebelum diberi penanganan *Stone column* pada kedalaman 3,4m sampai dengan kedalaman 18 m memiliki nilai $SF < 1$ yang berarti tanah tersebut berpotensi likuefaksi. Ketika setelah di beri penanganan perkuatan *stone column*, pada kedalaman tersebut nilai $SF > 1$ maka, tanah tersebut sudah tidak berpotensi likuefaksi.

4.3 Analisis Stabilitas Timbunan

Analisis stabilitas timbunan atau analisis keamanan yang dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Hasil analisis keamanan sebelum dan setelah perbaikan dengan *stone column* dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan hasil analisis keamanan, diperoleh nilai $SF = 1,4$ sebelum dilakukan perbaikan dan $SF = 2,6$ setelah dilakukan perbaikan dengan *stone column*.



Gambar 8. Perbandingan Hasil Analisis Keamanan Sebelum dan Setelah Perbaikan dengan *Stone Column*.

5. KESIMPULAN

Timbunan pada *Junction* Tebing Tinggi adalah pasir sedikit lanau dengan konsistensi yang sangat lepas. Nilai N-SPT pada BH 15-BH 18 sekitar 0-4 pada kedalaman 3 m-15,3 m dengan muka air tanah di kedalaman 1,2 m di bawah tanah dasar *Junction* Tebing Tinggi, Sumatera Utara membuat tanah pada daerah tersebut berpotensi likuefaksi. Analisis potensi likuefaksi yang penulis lakukan digunakan dengan tiga metode yaitu, Youd dan Idriss (2001), Robert dan Wride (1998), dan NCEER (1997) dengan menggunakan hasil CPT pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi didapatkan hasil pada kedalaman di sekitar 3,4 m–17,8 m berpotensi likuefaksi. Berdasarkan analisis keamanan lereng pun diperoleh SF sebesar 1,4. Berdasarkan kasus tersebut dilakukan perkuatan pada tanah dasar timbunan *Junction* Tebing Tinggi. Tahap perkuatan dilakukan dengan menambahkan *stone column* berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 10 m berjarak 1,5 m di sepanjang tanah dasar di bawah timbunan. Dengan perencanaan tersebut, didapatkan hasil bahwa tanah dasar sudah tidak berpotensi likuefaksi dan penurunan dapat tereduksi sebanyak 48-54% serta stabilitas lereng meningkat menjadi 2,6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusast Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kemeterian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [2] Day, R. W. (2002). *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook* (First edition.). McGraw-Hill Education. Available: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071377829>.
- [3] Seed, H. B., & Booker, J. R. (1978). Closure to “Stabilization of Potentially Liquefiable Sand Deposits Using Gravel Drains.” In *Journal of the Geotechnical Engineering Division* (Vol. 104, Issue 12). DOI: <https://doi.org/10.1061/ajgeb6.0000735>.
- [4] R.D.Barksdale, & Bachus, R. C. (1983). *Design-And-Construction-Of-Stone-Columns-Volume-2-Appendixes-FHWA-RD-83-027 Ver 01.pdf*. Available: <http://geotill.com/pdf/design-and-construction-of-stone-columns-volume-2-appendixes-fhwa-rd-83-027/>.
- [5] Mase, L. Z. (2018). *Studi Kehandalan Metode Analisis Likuefaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu*. Jurnal Teknik Sipil, 25(1), 53-60. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>.
- [6] Jusuf, M., & Kawanda, A. (2020). *Perancangan Fondasi Tiang Pancang Pada Tanah Berpotensi Likuefaksi Di Sulawesi*. JMST: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 3(3), 865-878. <https://doi.org/10.24912/jmst.v3i3.8747>.
- [7] Somantri, A. K., Iskandar, Febriansya, A., Daffa, B. A., & Hermawan, R. I. (2020). *The Foundations of Palangpang Bridge in the Area Potential to Liquefaction throughout the Cimandiri Fault*. Advances in Engineering Research 198, 388–393. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.064>.
- [8] Youd, T., Idriss, I., Andrus, R., Arango, I., Castro, G., Christian, J., Dobry, R., Finn, L., Jr, L., Koester, J., Liao, S., & Marcuson, W. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NFS Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))
- [9] NCEER. (1997). Application of K_a and K_σ correction factors. *Proceedings of the NCEER Workshop on Liquefaction Resistance of Soils, Technical Report NCEER - 97-0022*, 167–190. Available: <http://www.buffalo.edu/mceer/catalog.host.html/content/shared/www/mceer/publications/NCEER-97-0022.detail.html>
- [10] Robertson, P. K., & Wride, C. E. (Fear). (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test: Discussion 1. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(1), 270–271. DOI: <https://doi.org/10.1139/t99-102>
- [11] Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik; SNI No.8640 Th.2017. *SNI No.8640, 8460*, 2017. Available: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-perancangan-geoteknik.pdf>
- [12] Hardiyatmo, Hary Christady. (2003). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press.