

# Kajian Potensi Likuifaksi Pada Sekitar Pondasi Jembatan Prategang Di Sawangan

Emora Sesaro Ariandi<sup>1</sup>, Fabian J. Manoppo<sup>2</sup>, Joseph E.R. Sumampouw<sup>3</sup>

Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

<sup>1</sup>petrusgc@gmail.com; <sup>2</sup>fabian\_jm@yahoo.com; <sup>3</sup>raymondsumampouw@yahoo.com

**Abstrak** - Salah satu dampak yang disebabkan oleh gempa bumi adalah fenomena hilangnya kekuatan atau kemampuan tanah untuk menahan beban akibat getaran yang disebut dengan likuifaksi. Peristiwa Likuifaksi yang dikarenakan gempa bumi dapat mengakibatkan kerusakan dan kerugian yang besar pada infrastruktur. Dalam hal ini jembatan Sawangan menjadi lokasi evaluasi potensi likuifaksi, dengan menggunakan data Standard Penetration Test (SPT). Analisis potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui nilai factor keamanan (SF) di daerah tersebut, yang dilakukan dengan membandingkan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR) yang merupakan tegangan geser yang timbul akibat gempa dan Cyclic Resistance Ratio (CRR) yang merupakan tahanan tanah terhadap likuifaksi. Dan peristiwa likuifaksi akan terjadi untuk angka keamanan (SF) lebih kecil dari satu. Berdasarkan analisa terhadap perhitungan yang dilakukan, didapatkan adanya potensi likuifaksi pada lapisan permukaan tanah, dimana likuifaksi terjadi pada kedalaman 0 m - 3 m untuk magnitude gempa 7.5 SR. Setelah dilakukan analisa terhadap daya dukung pondasi akibat dampak likuifaksi baik dengan menggunakan cara statis maupun dengan menggunakan Program AllPile ditemukan terjadinya pengurangan kekuatan yang sangat kecil. Dimana setelah likuifaksi, kapasitas dukung pondasi berkurang sebesar 1157 kN dan penurunan pondasi bertambah sebesar 0.0154 cm. hal ini dikarenakan tiang sudah mencapai lapisan tanah keras sehingga lapisan tanah permukaan yang terlikuifaksi tidak banyak berpengaruh terhadap daya dukung pondasi tiang yang sudah ada.

**Kata kunci** — Cyclic Stress Ratio (CSR), Cyclic Resistance Ratio (CRR), Standard Penetration Test (SPT), gempa bumi, likuifaksi

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Daerah Indonesia yang memiliki aktifitas gempa yang tinggi, oleh dikarenakan lokasi Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama bumi yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik dan Philipine

Emora Sesaro Ariandi adalah mahasiswa tingkat akhir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada bidang Geoteknik (email : petrusgc@gmail.com);

Fabian J. Manoppo adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dan guru besar pada bidang Geoteknik (email : fabian\_jm@yahoo.com)

Joseph E. R. Sumampouw adalah dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi pada bidang Geoteknik (email : raymondsumampouw@yahoo.com)

menjadikan variabel gempa perlu diperhitungkan dalam melakukan rekayasa konstruksi. Walau umumnya variabel gempa hanya diperhitungkan pada struktur bagian atas saja. Namun pada kenyataannya gempa juga dapat mengakibatkan suatu kegagalan akibat hilangnya kestabilan tanah (struktur tanah bagian bawah). Bahaya geologis seperti hilangnya kestabilan tanah saat gempa bumi khususnya disebut dengan peristiwa likuifaksi, besar potensinya pada zona seismic atau jalur gempa bumi, yang tentunya dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur di wilayah Indonesia.

Dalam pembangunan peningkatan jembatan Sawangan, ditemukan di lapangan bahwa tanah dasarnya adalah tanah pasir berlempung dengan letak pondasi jembatan yang berada didekat sungai sehingga kondisi muka air tanahnya cukup tinggi. Lokasi pembangunan Jembatan Sawangan juga termasuk pada daerah yang rawan gempa sehingga mengacu pada fenomena likuifaksi, oleh karena itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap potensi likuifaksi di lokasi ini.

Untuk melakukan analisis terhadap likuifaksi terdapat dua cara yaitu dengan dengan hasil tes laboratorium dan hasil tes uji lapangan yang kemudian dihitung faktor keamanannya. Pada tes uji lapangan, tes yang paling sering digunakan ialah tes SPT, CPT, BPT dan Vs. Namun dari beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperhitungkan potensi likuifaksi tersebut, penulis menggunakan metode analisis potensi likuifaksi berdasarkan hasil uji Standard Penetration Test (SPT). Dan setelah didapatkan lapisan tanah yang berpotensi terhadap likuifaksi, kemudian akan dilakukan analisa terhadap kapasitas daya dukung pondasi tiang jembatan baik saat sebelum terjadinya maupun setelah terjadinya likuifaksi pada tanah. Dimana penulis menggunakan dua cara yaitu dengan cara statis dan dengan menggunakan program AllPile. Dengan demikian penulis dapat melakukan perbandingan yang jelas akan pengaruh likuifaksi di lokasi jembatan Sawangan terhadap daya dukung pondasinya.

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang timbul adalah :

1. Apakah kondisi tanah serta lokasi pembangunan jembatan Sawangan memiliki potensi terhadap bahaya likuifaksi ?
2. Berapa faktor keamanan jembatan terhadap likuifaksi ?

- Berapa besar pengaruh pada konstruksi jembatan jika tanah dasarnya berpotensi likuifaksi ?

**C. Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan penelitian ini, maka perlu diadakan batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Data-data tanah yang digunakan pada penelitian ini hanya dikhususkan pada tanah dasar di jembatan Sawangan;
- Metode yang digunakan untuk analisa potensi likuifaksi menggunakan data tanah Standard Penetration Test (SPT);
- Peninjauan potensi likuifaksi hanya dilakukan pada salah satu pilar jembatan;
- Analisa stabilitas pondasi jembatan yang ditinjau terhadap bahaya likuifaksi digunakan faktor keamanan pada magnitude gempa 7,5 SR;
- Kontrol terhadap stabilitas pondasi hanya memperhitungkan akibat beban vertikal.

**D. Tujuan Penelitian**

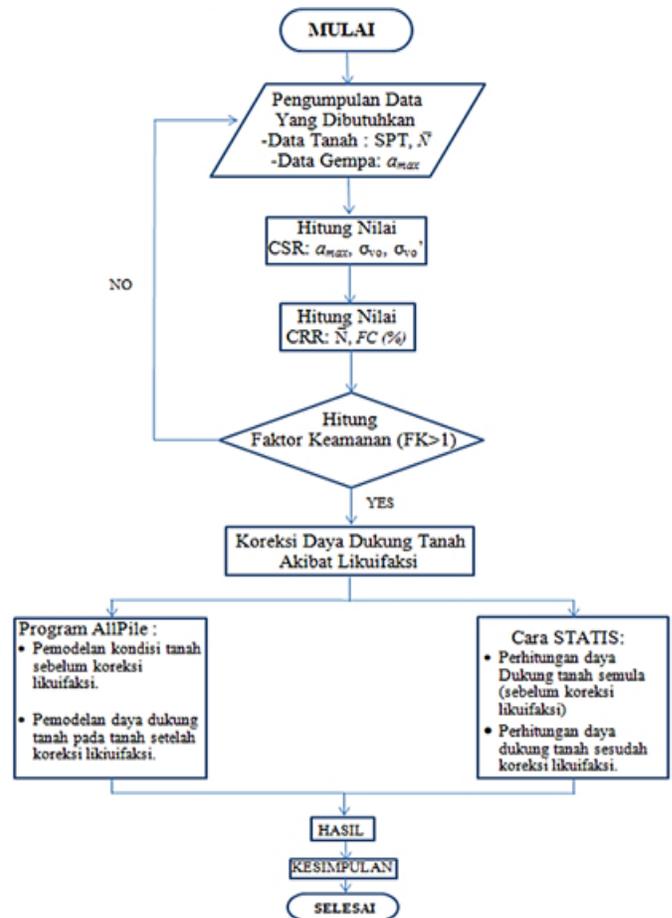
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan faktor keamanan dari tanah dasar jembatan Sawangan terhadap bahaya likuifaksi serta untuk mengetahui dampak likuifaksi terhadap konstruksi jembatan apabila tanah dasar jembatan berpotensi terlikuifaksi.

**E. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memberikan manfaat antara lain:

- Dapat membantu mahasiswa lainnya sebagai referensi atau contoh apabila mengambil topik bahasan yang berkaitan;
- Manfaat Teoritis, diharapkan penulisan ini dapat digunakan untuk acuan dan refrensi ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya dalam mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan data tanah lapangan khususnya data Standard Penetration Test (SPT).

- Menghitung nilai CSR;
- Menghitung nilai CRR di setiap lapisan tanah;
- Mengevaluasi potensi likuifaksi berdasarkan grafik Seed et. al.;
- Analisis daya dukung pondasi terhadap dampak potensi likuifaksi yang ada.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Bagan Alir**

Kegiatan penelitian mengikuti bagan alir pada Gambar 1.

**B. Umum**

Studi kasus berlokasi di Sawangan, Sulawesi Utara yang mana sekarang telah dibangun konstruksi jembatan prategang. analisis potensi likuifaksi dilakukan menggunakan pendekatan perhitungan dengan data tes lapangan yaitu SPT dan menggunakan program AllPile untuk menganalisis stabilitas struktur akibat potensi likuifaksi yang ada. Berdasarkan pengujian SPT di lapangan diketahui lapisan tanah merupakan tanah clayey sand dengan muka air tanah pada kedalaman 0 m. Hasil uji penetrasi standar tersebut disajikan pada Tabel 1.

**C. Cara Analitis**

Dalam menganalisa potensi likuifaksi pada lokasi jembatan Sawangan, dilakukan dalam 7 tahapan yaitu :

- Menganalisis jenis dan sifat-sifat tanah;
- Menghitung percepatan gempa di permukaan tanah;
- Menghitung tegangan tanah;



Gambar 2. Lokasi Jembatan Prategang Sawangan

**D. Lokasi dan Metode Pengumpulan Data**

Data pokok yang dibutuhkan dalam analisis ini ada tiga macam yaitu :

- Data gempa yang terjadi di sekitar lokasi jembatan Sawangan;
- Data tanah pada lokasi pembangunan jembatan Sawangan;
- Profil jembatan dan data beban jembatan.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Sifat Fisik Tanah**

Melalui Pengujian SPT di lapangan pada salah satu titik pilar (BH-03), didapatkan data tanah SPT yang dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. DATA TANAH PENGUJIAN SPT PADA TITIK BH-3 (PILAR 3)

Lapisan Tanah ke -	Deskripsi Jenis Tanah	Nilai N-SPT	Tebal Lapisan tanah di (m)	di/Ni
1	Sandy Clay, Brown	2	0.5	0.2500
2	Sandy Clay, Brown	2	0.5	0.2500
3	Sandy Clay, Brown	4	0.5	0.1250
4	Sandy Clay, Brown	4	1	0.2500
5	Sandy Clay, Brown	5	0.5	0.1000
6	Sandy Clay, Brown	5	0.5	0.1000
7	Sandy Clay, Brown	10	0.5	0.0500
8	Sandy Clay, Brown	10	0.5	0.0500
9	Sandy Clay, Brown	10	0.5	0.0500
10	Sandy Clay, Brown	12	0.5	0.0417
11	Sandy Clay, Brown	21	0.5	0.0238
12	Sandy Clay, Brown	28	0.5	0.0179
13	Sandy Clay, Brown	29	0.5	0.0172
14	Sandy Clay, Brown	30	0.5	0.0167
15	Sandy Clay, Brown	40	1.5	0.0375
16	Sandy Clay, Brown	45	3	0.0667
Σ			12	0.4560
N̄		Σdi/(Σdi/Ni)		<b>26.31378</b>

Dari hasil yang ditunjukkan dalam dalam table data tanah, terlihat bahwa nilai standart penetrasi rata-rata berada di  $15 \leq \bar{N} < 50$  dan sesuai dengan Tabel 1 (jenis-jenis tanah). menandakan bahwa jenis tanah pada lokasi yang ditinjau adalah "TANAH SEDANG".

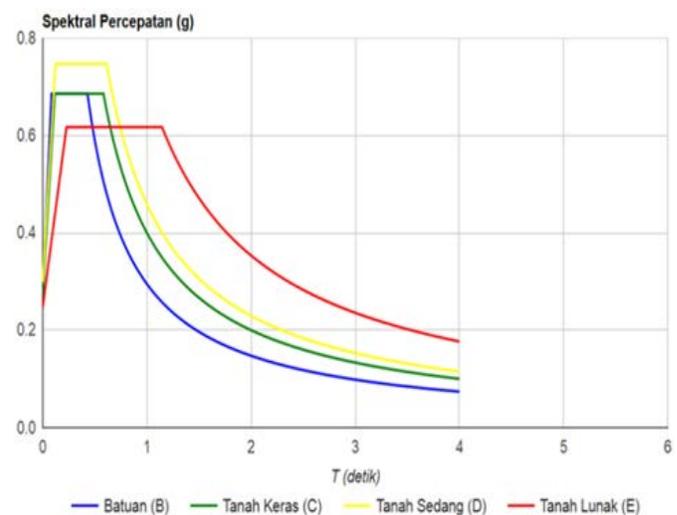
Dengan menggunakan tabel korelasi yang dikemukakan beberapa peneliti hasil data pengujian SPT dapat dikorelasikan untuk mendapatkan parameter-parameter sifat fisik tanah Korelasi antara nilai N-SPT dengan parameter-parameter sifat fisik tanah disajikan pada Tabel 2.

**B. Analisa Percepatan Gempa Maksimum Muka Tanah**

Nilai percepatan maksimum muka tanah ( $a_{max}$ ) didapatkan menggunakan situs Desain Spektra Indonesia yang dimana perhitungannya didasarkan pada panduan SNI 1726-2012. Dengan memasukan koordinat lokasi pembangunan Jembatan Prategang di Sawangan yaitu :  $1^{\circ}27'45.17''$  LU dan  $124^{\circ}52'40.74''$  BT pada situs Desain Spektra Indonesia, maka didapatkan grafik percepatan gempa di lokasi tersebut. Grafik ini ditampilkan pada Gambar 3.

TABEL 2. KORELASI ANTARA NILAI N-SPT DENGAN PARAMETER-PARAMETER SIFAT FISIK TANAH

Kedalaman Tanah (m)	Jenis Tanah	N <sub>M</sub>	Cu	Φ	E	PI	Dr	μ	γ <sub>sat</sub>
			t/m <sup>2</sup>	(°)	kg/cm <sup>3</sup>	%			t/m <sup>3</sup>
0 - 0.5	clayey sandy	2	1.2	25	1200	15	0.075	0.3	1.58
0.5 - 1	clayey sandy	2	1.2	25	1200	15	0.075	0.3	1.58
1 - 1.5	clayey sandy	4	2.4	25	2400	15	0.15	0.3	1.87
1.5 - 2.5	clayey sandy	4	2.4	25	2400	15	0.15	0.3	1.87
2.5 - 3	clayey sandy	5	3	25	3000	15	0.183	0.3	1.94
3 - 3.5	clayey sandy	5	3	25	3000	15	0.183	0.3	1.94
3.5 - 4	clayey sandy	10	6	25	6000	15	0.35	0.3	2.14
4 - 4.5	clayey sandy	10	6	25	6000	15	0.35	0.3	2.14
4.5 - 5	clayey sandy	10	6	25	6000	15	0.35	0.3	2.14
5 - 5.5	clayey sandy	12	7.2	25	7200	15	0.38	0.3	2.16
5.5 - 6	clayey sandy	21	12.6	25	12600	15	0.515	0.3	2.34
6 - 6.5	clayey sandy	28	16.8	25	16800	15	0.62	0.3	2.56
6.5 - 7	clayey sandy	29	17.4	25	17400	15	0.635	0.3	2.6
7 - 7.5	clayey sandy	30	18	25	18000	15	0.65	0.3	2.64
7.5 - 9	clayey sandy	40	24	25	24000	15	0.75	0.3	2.8
9 - 12	clayey sandy	45	27	25	27000	15	0.8	0.3	2.93
12 - 14	clayey sandy	48	28.8	25	28800	15	0.83	0.3	3.01
14 - 16	clayey sandy	52	31.2	25	31200	15	0.93	0.3	3.24
16 - 18	clayey sandy	55	33	25	33000	15	0.95	0.3	3.45



Gambar 3. Grafik Percepatan Gempa Pada Lokasi Pembangunan Jembatan Sawangan

Dari grafik pada Gambar 3, diambil data percepatan pada tanah sedang, dan kemudian bisa didapatkan hubungan antara periode gempa dan percepatan max gempa pada permukaan tanah, dimana angka maximumnya terdapat pada periode 0.125 - 0.625 s. Sehingga didapatkan nilai percepatan gempa maksimum di permukaan tanah sebesar 0.747 gal.

**C. Evaluasi Potensi Likuifaksi**

Metode yang digunakan dalam peneitian ini adalah metode yang disepakati oleh workshop mengenai CRR oleh NCEER pada tahun 1996 dan tahun 1998, yang dimuat dalam journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, volume 127, nomor 10, Oktober 2001, halaman 817-833. Workshop tersebut diketuai oleh Youd, T.L dan Idriss, I.M. Workshop tersebut pada dasarnya mengembangkan simplified procedure

yang diusulkan oleh Seed dan Idriss, 1971 yang difokuskan pada analisis ketahanan tanah terhadap bahaya likuifaksi (CRR).

Metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi adalah dengan cara mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan nilai CRR (Cyclic Resistance Ratio) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklis yang diakibatkan oleh beban gempa bumi dengan CSR (Cyclic Stress Ratio) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi pada lapisan tanah.

Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi. Dimana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

Dimana jika :

FS < 1 (Terjadi Likuifaksi)

FS = 1 (Kondisi Kritis)

FS > 1 (Tidak Terjadi Likuifaksi)

Dalam penentuan nilai CSR, parameter yang diperlukan adalah akselerasi puncak gempa horizontal pada permukaan tanah ( $a_{max}$ ), gravitasi, koefisien tegangan reduksi dan nilai overburden pressure. Semua variabel tersebut diekspresikan dalam persamaan berikut:

$$CSR = \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

Dimana konstanta 0.65 adalah *weighing factor* untuk menghitung siklus tegangan uniform yang dibutuhkan untuk menghasilkan kenaikan tekanan air pori yang sama dengan getaran gempa bumi irregular,  $a_{max}$  = akselerasi puncak horizontal pada permukaan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi,  $g$  = gravitasi;  $\sigma_{vo}$  dan  $\sigma'_{vo}$  tegangan *overburden vertical* efektif, dan  $r_d$  = koefisien tegangan reduksi.

TF Blake (1996) memberikan persamaan berikut untuk memperkirakan nilai  $r_d$  sebagai berikut :

$$r_d = \frac{1000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1000 - 0.4117z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2}$$

dimana  $z$  = kedalaman di bawah permukaan tanah dalam meter.

Dalam laporan SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures oleh I.M Idriss dan R.W Boulanger telah memodifikasi nilai dari beberapa parameter untuk menentukan harga CRR dengan magnitude gempa 7,5 adalah :

$$CRR = \left(\frac{(N_I)_{60CS}}{14.1}\right) + \left(\frac{(N_I)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_I)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_I)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.8$$

Dimana nilai CRR pada tanah biasanya berkorelasi dengan parameter in-situ seperti jumlah pukulan SPT (jumlah pukulan per meter), tahanan penetrasi CPT atau *shear wave velocity*, Vs. Hitungan pukulan SPT dipengaruhi oleh sejumlah detail prosedural (mis: panjang hammer, energi hammer, detail

sampler, ukuran lubang bor) dan oleh tekanan overburden efektif. Dengan demikian, korelasi dengan CRR didasarkan pada tahanan penetrasi yang terkoreksi, dimana dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$(N_I)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

Berdasarkan data empiris yang ada, Seed et.al mengembangkan kurva CRR untuk berbagai kandungan butiran halus (*finer content*) agar lebih sesuai dengan dasar data empiris dan untuk lebih mendukung perhitungan dengan spreadsheet dan bantuan perhitungan elektronik lainnya. Kurva CRR dibuat berdasarkan clean sand (pasir murni). Untuk menggunakan kurva-kurva tersebut untuk tanah yang mengandung partikel halus seperti lanau dan lempung, data hitungan pukulan SPT lapangan perlu dikoreksi untuk partikel halus tersebut. Tanah yang mengandung partikel halus cenderung akan tahan terhadap likuifaksi dibandingkan dengan tanah clean sand.

I.M Idriss dan R.W Boulanger tahun 2008 memberikan persamaan untuk menentukan parameter Equivalent clean sand adjustment  $(N_I)_{60CS}$ , sebagai berikut :

$$(N_I)_{60CS} = (N_I)_{60} + \Delta(N_I)_{60}$$

$$\Delta(N_I)_{60} = \frac{(N_I)_{60}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

TABEL 3. HASIL PERHITUNGAN ANGKA FAKTOR KEAMANAN UNTUK TITIK BOR BH-03 BERDASARKAN CRR7.5.

Depth of Soil (m)	CSR	CRR <sub>7.5</sub>	SF	KET
0 - 0,5	0,128	0,074	0,580	LIQUEFIED
0,5 - 1	0,128	0,072	0,561	LIQUEFIED
1 - 1,5	0,101	0,083	0,819	LIQUEFIED
1,5 - 2,5	0,101	0,088	0,875	LIQUEFIED
2,5 - 3	0,096	0,101	1,045	CRITICAL
3 - 3,5	0,096	0,101	1,049	CRITICAL
3,5 - 4	0,087	0,154	1,763	NOT LIQUEFIED
4 - 4,5	0,087	0,154	1,769	NOT LIQUEFIED
4,5 - 5	0,087	0,154	1,776	NOT LIQUEFIED
5 - 5,5	0,086	0,181	2,107	NOT LIQUEFIED
5,5 - 6	0,080	0,231	2,881	NOT LIQUEFIED
6 - 6,5	0,075	5,673	75,495	NOT LIQUEFIED
6,5 - 7	0,074	9,688	130,816	NOT LIQUEFIED
7 - 7,5	0,073	17,661	242,039	NOT LIQUEFIED
7,5 - 9	0,069	4,659	67,474	NOT LIQUEFIED
9 - 12	0,063	0,228	3,638	NOT LIQUEFIED
12 - 14	0,057	1,688	29,482	NOT LIQUEFIED
14 - 16	0,051	2,580	50,868	NOT LIQUEFIED
16 - 18	0,045	3,361	74,199	NOT LIQUEFIED

Untuk menghitung CRR dengan besar magnitude gempa selain 7.5, diperlukan faktor koreksi yang disebut Magnitude Scale Factor (MSF). Seed (1983) memberikan persamaan, yaitu :

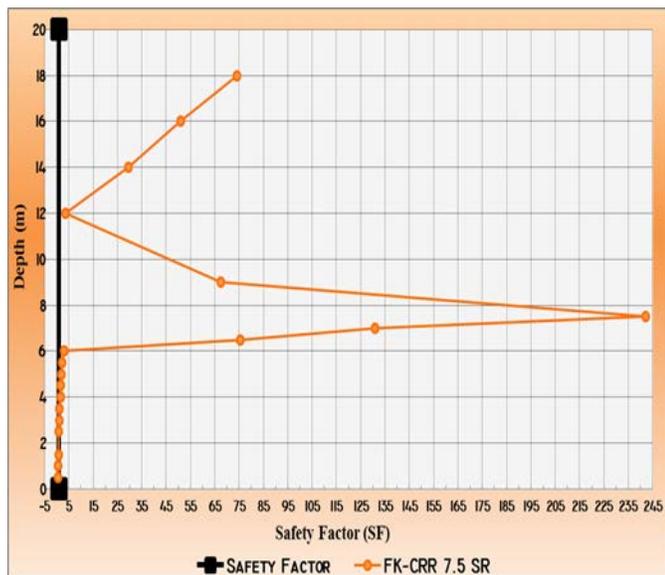
$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058$$

$$CRR_M = CRR_{7,5} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Dimana  $K_\sigma$  adalah *overburden corrections factor*. Faktor koreksi yang dikemukakan oleh Boulanger (2003) dan kemudian Idriss dan Boulanger (2008) merekomendasikan persamaan berikut untuk menentukan factor koreksi tegangan berlebih:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1,1$$

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



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Kedalaman vs. FK - CRR<sub>7,5</sub>

Skala gempa pada skala Richter untuk mengevaluasi potensi likuifaksi diambil nilai  $M = 6, 7, 8$  dan  $9$  SR. Dengan menggunakan Magnitude Scaling Factor (MSF) yang dihitung menggunakan persamaan diatas. Selengkapnya hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 5.

#### D. Analisis Daya Dukung Pondasi Jembatan

##### a. Kapasitas daya dukung tiang pancang

Daya dukung pondasi tiang pancang pada tanah kohesif dan non-kohesif dengan menggunakan cara statis memiliki beberapa perbedaan. Dimana rumus umum daya dukung tiang adalah sebagai berikut :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{Q_p + Q_s - W_p}{SF}$$

##### b. Daya dukung tahanan ujung dan tahanan samping pondasi tiang pancang

Kapasitas tahanan ujung tiang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh beberapa peneliti, yang diantaranya adalah Meyerhof (1976) dan Vesic (1977). Tahanan ujung berdasarkan metode Meyerhof (1976) :

$$Q_p = q_p \cdot A_p = A_p \cdot (c \cdot N_c' + q' \cdot N_q' + 0,5 \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma')$$

Dimana,

- $A_p$  = Luas tampang tiang pancang, (m<sup>2</sup>)
- $c$  = Kohesi tanah di sekitar dasar tiang, (kN/m<sup>2</sup>)
- $D$  = Diameter tiang pancang, (m)
- $\phi$  = Sudut geser tanah pada dasar tiang, (°)
- $\gamma$  = Berat volume tanah efektif pada dasar tiang ( $\gamma_w = 9,8$  kN/m<sup>2</sup>)
- $q'$  = Tekanan overburden efektif pada ujung tiang, (kN/m<sup>3</sup>)
- $N_c', N_q', N_\gamma'$  = Faktor daya dukung untuk pondasi yang dalam

Ada tiga prosedur yang digunakan sekarang ini dengan kedua metode umum tersebut untuk menghitung tahanan kulit dari tiang-pancang dalam tanah kohesif. Metode-metode ini dinamai metode  $\alpha$  metode  $\lambda$  dan metode  $\beta$  untuk faktor-faktor yang digunakan dalam bagian kapasitas tahanan kulit, dimana rumus umumnya adalah :

$$Q_s = \sum (f_s \cdot A_s)$$

Tahanan samping tiang pancang dengan Metode  $\lambda$ , dimana Vijayvergiya dan Focht (1972) memberikan suatu persamaan untuk mendapatkan tahanan kulit  $f_s$  dari suatu tiang pancang sebagai berikut :

$$f_s = \lambda (q' + (2 \cdot c_u))$$

- $A_s$  = Luas selimut tiang (m<sup>2</sup>)
- $\lambda$  = Koefisien Vijayvergiya dan Focht
- $c_u$  = Kohesi *undrained* (kN/m<sup>2</sup>)

##### c. Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok (*pile group*)

Untuk menghitung kapasitas tiang yang berkaitan dengan keruntuhan blok, Terzaghi dan Peck (1948) mengambil asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Pelat penutup tiang (*pile cap*) sangat kaku;
2. Tanah yang berada di dalam kelompok tiang-tiang berkelakuan seperti blok padat.

Dengan asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai fondasi-dalam, dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh persamaan (Terzaghi dan Peck, 1948) :

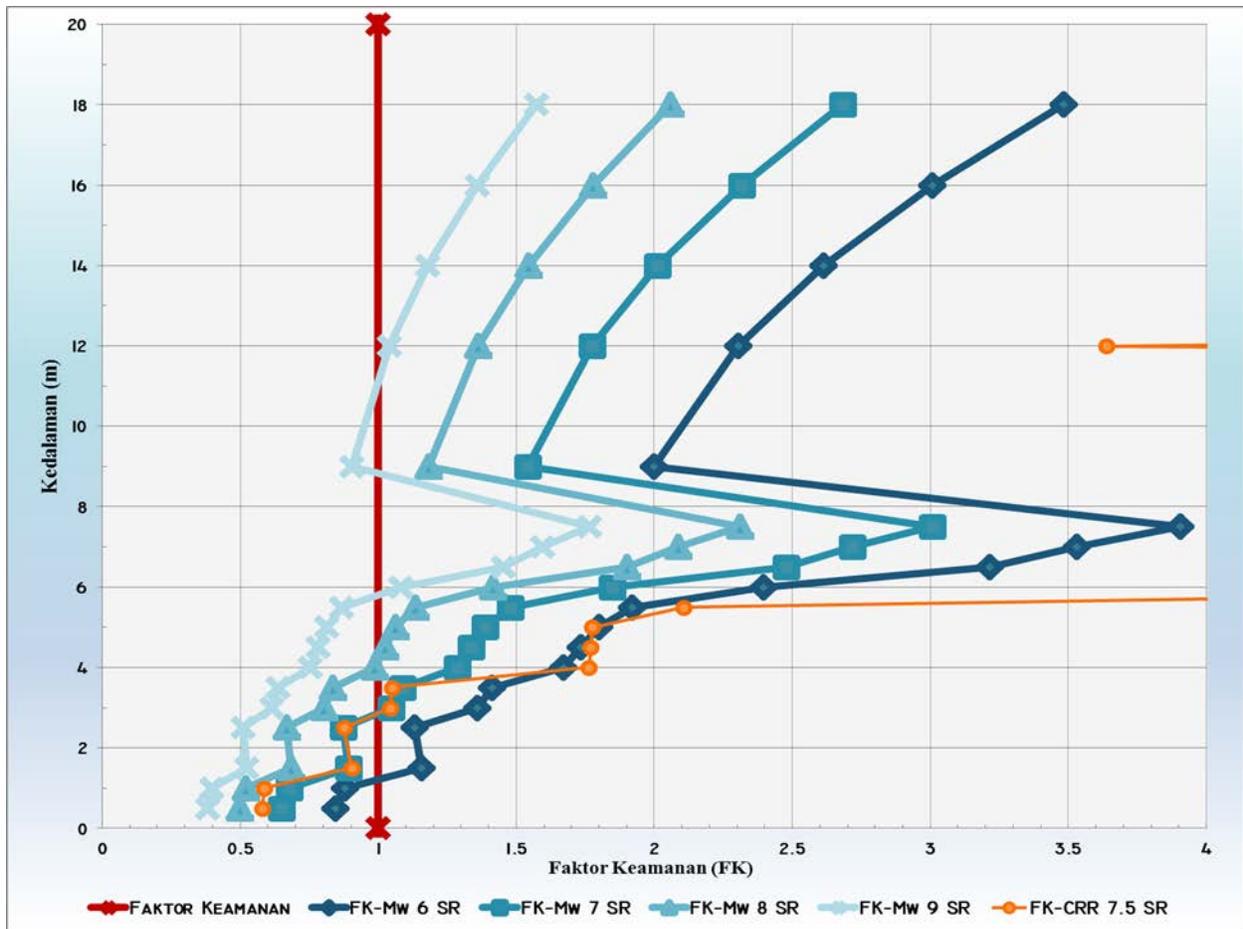
$$Q_g = \sum (2D \cdot c \cdot (B + L)) + 1,3 \cdot c_b \cdot N_c \cdot B \cdot L$$

Dimana :  $Q_g$  = Kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui  $n \cdot Q_u$  (kN);  $n$  = jumlah tiang dalam kelompoknya;  $c$  = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m<sup>2</sup>);  $c_b$  = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m<sup>2</sup>);  $B$  = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m);  $L$  = Panjang kelompok tiang (m);  $D$  = Kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m);  $N_c$  = faktor kapasitas dukung



TABEL 4. VARIASI NILAI FAKTOR KEAMANAN (SF) HASIL ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DI TITIK BH-03 DENGAN MAT 0 M DENGAN VARIASI MAGNITUDE GEMPA 6 SR, 7 SR, 8 SR & 9 SR

Kedalaman Tanah (m)	CSR	CRR <sub>M</sub>				FK - CRR <sub>M</sub>			
		M = 6	M = 7	M = 8	M = 9	M = 6	M = 7	M = 8	M = 9
0 - 0.5	0.1283	0.1083	0.0834	0.0640	0.0489	0.8441	0.6501	0.4990	0.3813
0.5 - 1	0.1278	0.1123	0.0865	0.0664	0.0507	0.8788	0.6768	0.5195	0.3969
1 - 1.5	0.1014	0.1173	0.0903	0.0693	0.0530	1.1568	0.8909	0.6838	0.5225
1.5 - 2.5	0.1006	0.1139	0.0877	0.0673	0.0515	1.1321	0.8719	0.6692	0.5114
2.5 - 3	0.0964	0.1311	0.1010	0.0775	0.0592	1.3599	1.0473	0.8039	0.6143
3 - 3.5	0.0961	0.1357	0.1045	0.0802	0.0613	1.4128	1.0881	0.8352	0.6382
3.5 - 4	0.0873	0.1458	0.1123	0.0862	0.0659	1.6696	1.2858	0.9869	0.7542
4 - 4.5	0.0870	0.1509	0.1162	0.0892	0.0682	1.7336	1.3351	1.0248	0.7831
4.5 - 5	0.0867	0.1560	0.1202	0.0922	0.0705	1.7997	1.3860	1.0638	0.8129
5 - 5.5	0.0857	0.1645	0.1267	0.0973	0.0743	1.9200	1.4787	1.1350	0.8673
5.5 - 6	0.0802	0.1922	0.1480	0.1136	0.0868	2.3965	1.8457	1.4167	1.0825
6 - 6.5	0.0751	0.2417	0.1861	0.1429	0.1092	3.2163	2.4770	1.9012	1.4528
6.5 - 7	0.0741	0.2614	0.2013	0.1545	0.1181	3.5292	2.7180	2.0862	1.5942
7 - 7.5	0.0730	0.2850	0.2195	0.1685	0.1287	3.9061	3.0082	2.3090	1.7644
7.5 - 9	0.0691	0.1381	0.1064	0.0816	0.0624	1.9997	1.5401	1.1821	0.9033
9 - 12	0.0626	0.1441	0.1110	0.0852	0.0651	2.3030	1.7737	1.3614	1.0403
12 - 14	0.0573	0.1496	0.1152	0.0884	0.0676	2.6124	2.0119	1.5443	1.1801
14 - 16	0.0507	0.1525	0.1174	0.0901	0.0689	3.0070	2.3158	1.7775	1.3583
16 - 18	0.0453	0.1577	0.1215	0.0932	0.0712	3.4823	2.6819	2.0585	1.5730



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Faktor Keamanan (SF) Hasil Analisis Potensi Likuifaksi di Titik BH-03 Variasi Magnitude Gempa 6 SR, 7 SR, 8 SR & 9 SR

**E. Analisis Daya Dukung Pondasi Jembatan Prategang Sawangan Setelah Dampak Likuifaksi**

Untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang dan keamanan tiang kelompok akibat dampak likuifaksi, maka digunakan data tanah akibat CRR7,5 yang magnitude gempanya sebesar 7.5 SR. Dimana pada kondisi ini potensi likuifaksi di tanah terjadi pada kedalaman 0 m – 3 m dari permukaan tanah.

Dalam studi kasus ini, penulis mengasumsikan bahwa lapisan tanah yang terlikuifaksi menjadi lapisan tanah dengan kondisi tidak terdrainase. Dimana dalam kondisi ini, tanah sepenuhnya jenuh dan tidak ada perubahan kadar air dalam tanah (air tidak mengalir) yang merupakan situasi yang sama terjadi selama proses likuifaksi.

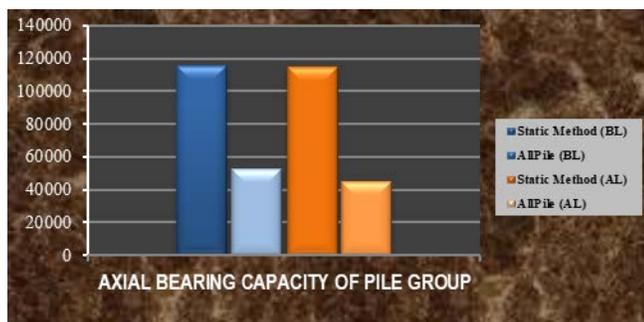
Dalam keadaan undrained dan jenuh, tanah berperilaku seolah-olah sudut geser ( $\phi$ ) adalah nol bahkan karena tidak ada kontak antara butiran, dapat diasumsikan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) juga mendekati nol. Oleh karena itu, dalam perhitungan daya dukung tanah akibat likuifaksi, lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi diasumsikan memiliki nilai kohesi dan sudut geser tanah sama dengan nol sebagai koreksi data tanah akibat likuifaksi.

TABEL 5. REKAP KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG SEBELUM DAN SESUDAH LIKUIFAKSI

	HASIL SEBELUM LIKUIFAKSI			HASIL SESUDAH LIKUIFAKSI		
	Qu	FS	Qall	Qu	FS	Qall
	kN		kN	kN		kN
MAX	17066,84	2,5	6826,736744	17044,39	2,5	6817,757781
MIN	6004,91		2401,965999	5956,68		2382,673621

TABEL 6. REKAP KAPASITAS DAYA DUKUNG PILE GROUP SEBELUM DAN SESUDAH LIKUIFAKSI

Axial Bearing Capacity of Pile Group (Qu)			Work Load	Safety Control
Method	Before Liquefaction	After Liquefaction	Puk	Condition: Qu > Puk
	(kN)	(kN)	(kN)	
Static Method	115294,3679	114137,3681	17203.50	SAFE
AllPile Program	52348,56	44650,92		SAFE



Gambar 6. Grafik Kapasitas Daya Dukung Pile Group Sebelum dan Sesudah Likuifaksi

**F. Pembahasan**

Data tanah yang didapat melalui Pengujian SPT (Standard Penetration Test) menunjukkan lokasi Jembatan Sawangan merupakan tanah pasir berlempung (Clayey Sand) dengan kedalaman muka air tanah yang rendah. Dan berdasarkan klasifikasi tanah pada SNI-1726-2012, nilai penetrasi rata-rata (N) pada titik BH-03 menunjukkan tanah dasar berjenis tanah sedang dengan nilai N rata-rata = 26,3.

- Dengan menggunakan situs Desain Spektra Indonesia didapat nilai percepatan gempa untuk daerah lokasi pembangunan jembatan Sawangan yaitu 0,747g;
- Harga CRR dengan koreksi Clean Sands sangat dipengaruhi oleh presentase partikel halus (Fine Content). Dimana semakin besar presentase partikel halus maka semakin besar harga CRR (kekuatan tanah terhadap beban siklis);
- Semakin dalam suatu kedalaman lapisan tanah, maka nilai faktor keamanan yang didapat juga semakin besar yaitu lebih dari satu, sehingga lebih aman terhadap likuifaksi;
- Kondisi MAT akan mempengaruhi tegangan efektif pada tanah, sehingga akan mempengaruhi harga CSR. Maka semakin rendah kedalaman muka air tanah, semakin tinggi harga CSR (tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi). Dan semakin besar harga CSR maka semakin besar potensi likuifaksi pada tanah;
- Dari hasil analisis yang dilakukan didapat bahwa nilai Faktor Keamanan pada titik BH-03 yang ditinjau dengan CRR untuk Magnitudo 7.5 SR didapatkan bahwa likuifaksi terjadi pada permukaan tanah yaitu sampai pada kedalaman 2.5 m. Berikut hasil rekap perubahan daya dukung dan penurunan tiang kelompok akibat dampak likuifaksi yang terjadi pada kedalaman 0 m – 2.5 m akibat magnitude gempa 7.5 SR.

TABEL 7. REKAP PRESENTASI PERUBAHAN KAPASITAS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PILE GROUP AKIBAT DAMPAK LIKUIFAKSI

Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok (Qu)				
Metode	Sebelum Likuifaksi	Sesudah Likuifaksi	Penurunan	Presentasi Penurunan
	(kN)	(kN)	(kN)	(%)
Cara Statis	115294,3679	114137,3681	1156,999838	1,0035180888445
Program AllPile	52348,56	44650,92	7697,64	14,7045878625888
Penurunan Tiang Kelompok (S)				
Metode	Sebelum Likuifaksi	Sesudah Likuifaksi	Kenaikan	Presentasi Kenaikan
	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
Program AllPile	0,19118	0,20658	0,0154	8,055235903

**IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

**A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Analisis perhitungan Faktor Keamanan yang didapat untuk titik BH-03 dengan variasi nilai magnitude gempa dari 6 SR sampai 9 SR, semuanya menunjukkan lapisan tanah

yang terlikuifaksi hanya terjadi pada permukaan tanah saja yaitu pada kedalaman 1 m – 6 m.

2. Didapatkan bahwa dampak likuifaksi mengakibatkan berkurangnya kekuatan dukung pada pondasi. Namun sangat kecil, oleh karena tiang sudah mencapai lapisan tanah keras. Sehingga jembatan Sawangan masih dapat dikatakan aman terhadap bahaya likuifaksi.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil perencanaan penulis dapat memberikan beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Jumlah titik pengujian untuk menganalisis potensi likuifaksi sebaiknya lebih dari satu, agar supaya ada data pembandingan antara satu titik dengan titik lainnya.
2. Hasil analisis perhitungan yang diperoleh sebaiknya dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya, seperti perhitungan dengan menggunakan data laboratorium atau juga data pengujian Cone Penetrometer Test (CPT).
3. Disarankan sistem pondasi yang akan digunakan untuk struktur bangunan sipil yang tanah dasarnya berindikasi akan bahaya likuifaksi menggunakan pondasi dalam sehingga boleh mencapai suatu kedalaman yang aman terhadap perilaku likuifaksi.

## V. KUTIPAN

#### A. Buku

- [1] I. M. Idriss, R. W. Bloulanger, *SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures*. University of California, 2010.
- [2] L. D. Wesley, *Buku Mekanika Tanah Edisi Baru*. 2017.

- [3] Hary Christady Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta : Beta Offset, 2008.
- [4] Hary Christady Hardiyatmo, *Teknik Pondasi II*. Yogyakarta : Beta Offset, 2008.
- [5] Joseph E. Bowles, *Analisa dan Disain Pondasi Jilid 2 Edisi keempat*. Jakarta : Erlangga, 1991.
- [6] L. D. Wesley, *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan Dan Residu*. Yogyakarta : Penerbit Andi, 2012.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. SNI 1726 – 2012, 2012.
- [8] Md. Manzur Rahman, *Standard Penetration Test : Corerection and Correlation*. Bangladesh Water Development Board.

#### B. Jurnal

- [9] T. L. Youd, I. M. Idriss, "Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", in Technical Report NCEER-97-022, Utah, ISSN 1088-3800, 1997.
- [10] T. L. Youd, I. M. Idriss, "Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report From The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", in Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, April 2001.
- [11] Roski R.I. Legrans, "Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT) di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara", dalam Jurnal Tekno, Vol. 14, No. 65, 2016.
- [12] Kohji Tokimatsu, Yoshiaki Yoshimi, "Criteria of Soil Liquefaction with SPT and Fines Content, Tokyo Institute of Technology", Tokyo, Japan.

#### C. Internet

- [13] Situs Desain Spektra Indonesia, PUSKIM, [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)