



POTENSI LIKUIFAKSI PADA JEMBATAN HOLTEKAMP, JAYAPURA, PAPUA

David Simangunsong^{1*}, Zufaldi Zakaria¹, Irvan Sophian¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: david14001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Salah satu masalah dalam pembangunan infrastruktur adalah likuifaksi. Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur yang ada disekitarnya sehingga menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar dan juga dapat mengancam keselamatan manusia. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada 140° 42' 38,0124" – 140° 43' 2,6256" BT dan 2° 35' 28,2984" – 2° 35' 57,5844" LS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi likuifaksi pada daerah jembatan Holtekamp. Metode yang digunakan adalah mengumpulkan data primer yaitu pemetaan geologi dan geologi teknik dan data sekunder yaitu log bor, nilai SPT dan hasil uji laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa likuifaksi terjadi pada kedalaman 2 meter dan 10-12 meter pada titik bor BH-05 P4 dan 2-10 meter pada titik bor BH-06 P5.

Kata kunci: Likuifaksi; Rasio Tekanan Siklik; Rasio Hambatan Siklik; Uji Penetrasi Standar

ABSTRACT

One of the problem in construction of infrastructure is liquefaction. Liquefaction can cause damage to buildings and infrastructure, causing the enormous economic losses and can also threaten human safety. Geographically, the study area is located on 140° 42' 38.0124" - 140° 43' 2.6256" E and 2° 35' 28.2984" - 2° 35' 57.5844" S. The purpose of this research is to determine the liquefaction potential at Holtekamp Bridge. The used methods are collecting the primary data which is geological and engineering geological mapping and secondary data which is drill log, SPT value, and laboratory test. The research result shows that liquefaction occurs at the depth of 2 meter and 10-12 meter at BH-05 P4 drill hole and 2-10 meter at BH-06 P5 drill hole.

Keywords: *Liquefaction; Cyclic Stress Ratio; Cyclic Resistant Ratio; Standard Penetration Test*

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti laut, lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang, dan lain sebagainya. Selain menjadi penghubung, jembatan juga dijadikan ikon suatu kota. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam pembangunan jembatan adalah potensi terjadinya bencana alam, salah satunya gempa bumi.

Akibat yang dihasilkan oleh gempa bumi adalah likuifaksi. Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur yang ada disekitarnya sehingga menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar dan juga dapat mengancam keselamatan manusia. Saat terjadi likuifaksi, tanah mengalami penurunan daya dukung sehingga dapat menyebabkan runtuhnya bangunan ataupun infrastruktur yang dibangun diatas tanah tersebut.

Daerah jembatan Holtekamp memiliki potensi likuifaksi yang cukup tinggi dikarenakan material penyusun pada

daerah ini terdiri dari endapan pasir pantai yang memiliki potensi untuk terlikuifaksi. Dengan menggunakan parameter-parameter dalam menghitung likuifaksi maka potensi likuifaksi pada daerah ini dapat diketahui.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut BMKG, gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempabumi inilah yang mengakibatkan terjadinya getaran atau guncangan tanah, likuifaksi, longsor tanah, tsunami dan bahaya sekunder seperti arus pendek, gas bocor yang menyebabkan kebakaran. Menurut Peta Gempa Indonesia tahun 2010, untuk mendapatkan percepatan puncak gempa di permukaan tanah di suatu lokasi tinjauan, terlebih dahulu perlu dilakukan klasifikasikan site (jenis tanah). Klasifikasi site harus ditentukan untuk lapisan setebal 30 meter yang didasarkan atas korelasi hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Besarnya percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Gambar 3, Gambar 6, atau Gambar 9 pada Peta Gempa Indonesia tahun 2010.

Menurut Seed (1979) dalam Legrans (2016), likuifaksi adalah suatu kondisi dimana tanah akan mengalami deformasi yang kontinu pada tegangan sisa atau tahanan sisa yang rendah akibat terbentuknya tekanan air pori yang tinggi yang mengurangi tekanan efektif hingga menjadi sangat rendah. Peningkatan tekanan air pori yang menimbulkan likuifaksi dapat disebabkan oleh bekerjanya tegangan statis atau cyclic, dan kemungkinan terjadinya likuifaksi tergantung pada angka pori, kepadatan relatif dan tekanan total. Syarat utama terjadinya likuifaksi antara lain adalah adanya beban dinamis yang bekerja pada lapisan jenuh air. Kondisi likuifaksi dapat

terjadi pada kedalaman berapa saja asalkan kondisi-kondisi setempat dan getaran dari pembebanan yang diperlukan terjadi (Legrans,2016).

Prinsip dasar dalam evaluasi likuifaksi tanah adalah menghitung dua variabel utama yaitu perilaku seismik tanah atau *cyclic stress ratio* (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi dan kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi atau *cyclic resistance ratio* (CRR) yang diperoleh dari uji SPT. Pada estimasi potensi likuifaksi, likuifaksi akan terjadi jika nilai faktor keamanan (factor of safety, FS) kurang dari dan sama dengan satu, $FS \leq 1$. Faktor keamanan ini merupakan perbandingan antara CRR dan CSR ($FS = CRR/CSR$). Sedangkan likuifaksi tidak akan terjadi bila $FS > 1$.

CSR atau cyclic stress ratio adalah nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di setiap lapisan tanah. CSR juga biasa disebut Seismic Stress Ratio (SSR). Menurut Seed dan Idriss (1971) dalam Robertson (2004), nilai CSR dihitung dengan persamaan:

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \cdot r_d \quad \dots(1)$$

Dimana a_{max} adalah nilai percepatan puncak di permukaan tanah, g adalah percepatan gravitasi, σ_{vo} adalah tegangan total, σ'_{vo} adalah tegangan efektif, dan r_d adalah koefisien tegangan reduksi dalam fungsi kedalaman (z) berdasarkan persamaan T.F. Blake:

$$r_d = \frac{(1000-0,4113z^{0,5}+0,04052z+0,001753z^{1,5}}{(1000-0,4177z^{0,5}+0,05729z-0,006205z^{1,5}+0,001210z^2)} \quad \dots(2)$$

Dimana z adalah faktor kedalaman dalam satuan meter.

Kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi disebut tegangan geser *cyclic* resisten, atau *Cyclic Resistance Ratio* yang digambarkan oleh variabel CRR (Youd dan Idriss, 1997). Nilai CRR dapat dihitung berdasarkan data uji lapangan, salah

satunya dengan uji penetrasi standar (SPT). Jika menggunakan hasil uji penetrasi standar (SPT), maka untuk mendapatkan nilai CRR harus dilakukan koreksi nilai SPT dengan persamaan:

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad \dots(3)$$

Dengan $(N_1)_{60}$ adalah nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%, N_M adalah hasil uji SPT di lapangan, C_N adalah faktor koreksi tekanan overburden (nilainya $\leq 1,70$), C_E adalah faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu (bernilai 0,8), C_B adalah faktor koreksi terhadap diameter bor (bernilai 1), C_R adalah faktor koreksi untuk panjang batang SPT (<4 meter bernilai 0,75; 4-10 meter bernilai 0,85-0,95; >10 meter bernilai 1), dan C_S koreksi terhadap tabung contoh (samplers) dengan atau tanpa pelapis (bernilai 1).

I.M. Idriss dan R.W. Boulanger (2008) memodifikasi nilai dari beberapa parameter dalam menghitung CRR seperti $(N_1)_{60cs}$ (nilai SPT yang dikoreksi berdasarkan butiran yang lolos ayakan 200), $\Delta(N_1)_{60}$ dan $CRR_{7,5}$ dalam persamaan berikut:

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad \dots(4a)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp(1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} - (\frac{15,7}{FC+0,01})^2) \quad \dots(4b)$$

$$CRR_{7,5} = \exp(\frac{(N_1)_{60cs}}{14,1} + (\frac{(N_1)_{60cs}}{126})^2 - (\frac{(N_1)_{60cs}}{23,6})^3 + (\frac{(N_1)_{60cs}}{25,4})^4 - 2,8) \quad \dots(5)$$

Dengan ketentuan jika $(N_1)_{60cs} > 37,5$ tidak perlu dievaluasi karena dianggap nilai ini tidak rentan terhadap likuifaksi. Jika $(N_1)_{60cs} > 37,5$ dapat diwakilkan dengan nilai $CRR_{7,5} = 2$.

Pada skala gempa selain 7,5, nilai CRR dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$CRR = CRR_{7,5} \cdot K_{\sigma} \cdot MSF \quad \dots(6)$$

Dimana $CRR_{7,5}$ adalah CRR pada 7,5 skala Richter, K_{σ} adalah faktor koreksi

overburden, dan MSF adalah faktor skala gempa.

Faktor koreksi *overburden* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$K_{\sigma} = (\frac{\sigma_{vo}}{P_a})^f \quad \dots(7)$$

f adalah faktor kerapatan relatif tanah, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$f = 0,831 - \frac{(N_1)_{60cs}}{160} \quad \dots(8)$$

MSF (Magnitude Scaling Factor) adalah faktor skala gempa yang dikemukakan pertama kali oleh Seed dan Idriss pada tahun 1982 disebabkan sulitnya membedakan kondisi likuifaksi dan non-likuifaksi pada perhitungan CRR untuk gempa selain 7,5 skala Richter. MSF dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad \dots(9)$$

3. METODE

Penelitian ini diawali oleh *review* kondisi geologi daerah penelitian. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi, seperti geomorfologi, jenis litologi dan penyebarannya, serta struktur geologi. Selanjutnya dalam penentuan zona resapan air, penulis menggunakan parameter kelurusan morfologi dan permeabilitas. Analisis kelurusan morfologi dimulai dengan memisahkan kelurusan – kelurusan morfologi berdasarkan arah orientasinya. Kemudian, nilai densitas kelurusan morfologi didapatkan dari jumlah panjang kelurusan pada setiap kotak grid 1 x 1 km (Suryantini, 2010). Uji permeabilitas batuan dilakukan menggunakan alat permeameter dengan metode *falling head*. Pada metode *falling head*, permukaan air dibiarkan menurun akibat adanya gaya gravitasi. Nilai permeabilitas batuan didapatkan

menggunakan persamaan berikut (ASTM D 5084 – 03):

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

- a = Luas permukaan buret (cm²)
 L = Tinggi sampel (cm)
 A = Luas permukaan sampel (cm²)
 h₁ = Tinggi air awal pembacaan (cm)
 h₂ = Tinggi air akhir pembacaan (cm)
 t = Waktu (s)
 k = Permeabilitas (cm/s)

Nilai permeabilitas dan juga nilai densitas kelurusan morfologi yang sudah diperoleh diinterpolasi menggunakan metode *minimum curvature* sehingga menjadi peta isopermeabilitas dan peta densitas kelurusan morfologi daerah penelitian. Sementara itu, penentuan batas kategori tinggi, sedang, dan rendah pada peta densitas kelurusan morfologi dan peta isopermeabilitas menggunakan metode statistik kuartil. Batas kelas terbagi menjadi kuartil 1, kuartil 2, dan kuartil 3. Data terendah hingga kuartil 1 merupakan kategori rendah, kuartil 1 hingga kuartil 3 merupakan kategori sedang, dan kuartil 3 hingga data tertinggi merupakan kategori tinggi. Kuartil 2 dimasukkan ke dalam kategori sedang, yang memiliki batas dari kuartil 1 hingga kuartil 3. Persamaan kuartil dapat dilihat berikut ini (Nugroho, 2008).

$$Q_i = \frac{i}{4}(n + 1)$$

- i = kuartil ke 1, 2, 3
 n = jumlah data

Verifikasi peta densitas kelurusan morfologi pada masing – masing arah orientasi dengan peta isopermeabilitas menggunakan metode *overlay*. Hasil verifikasi berupa persentase kesesuaian antara densitas kelurusan morfologi dan permeabilitas. Persentase kesesuaian terbesar menunjukkan arah kelurusan yang mempengaruhi nilai permeabilitas batuan di daerah penelitian. Selanjutnya, penentuan zona resapan air didapatkan melalui *overlay* antara peta densitas kelurusan morfologi dengan persentase kesesuaian terbesar dan

peta isopermeabilitas. Metode yang digunakan yaitu metode *scoring*, dengan memberi penilaian terhadap parameter densitas kelurusan morfologi dan permeabilitas.

Tabel 3.1 Ketentuan nilai dari parameter densitas kelurusan morfologi dan permeabilitas (atas) dan kategori zona resapan air (bawah)

Parameter	Kategori	Nilai
Densitas Kelurusan Morfologi	Tinggi	3
	Sedang	2
	Rendah	1
Permeabilitas	Tinggi	3
	Sedang	2
	Rendah	1

Total Nilai	Kategori Zona Resapan Air
6	Sangat Baik
5	Baik
4	Sedang
3	Buruk
2	Sangat Buruk

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Geologi Daerah Penelitian

Jembatan Holtekamp terletak di Hamadi, Kecamatan Jayapura Selatan, Kota Jayapura, Provinsi Papua. Secara geografis, daerah tersebut terletak pada 140° 42' 38,0124" – 140° 43' 2,6256" BT dan 2° 35' 28,2984" – 2° 35' 57,5844" LS. Jembatan Holtekamp menghubungkan daerah Hamadi di Distrik Jayapura Selatan ke daerah Holtekamp di Distrik Abepura.

Secara geologi, daerah jembatan Holtekamp terdiri dari formasi Jayapura yang terdiri dari batugamping dan endapan pantai yang terdiri dari pasir lepas.

Perhitungan potensi likuifaksi dilakukan dengan menghitung nilai CSR dan CRR yang dibatasi hingga kedalaman 30 meter karena percepatan puncak gempa pada permukaan tanah yang mana adalah salah satu faktor dalam menghitung potensi likuifaksi hanya ditentukan untuk lapisan 30 meter. Berdasarkan uraian diatas maka analisis likuifaksi dilakukan pada enam titik

bor, yaitu titik BH-05 P4 dan BH-06 P5 dengan kedalaman maksimum 30 meter.

4.2 Perhitungan CSR (Cyclic Stress Ratio)

Nilai CSR atau rasio tegangan siklik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu percepatan maksimum gempa pada permukaan tanah (a_{max}), tegangan *overburden*, dan reduksi tegangan pada tiap kedalaman (r_d).

Untuk menghitung percepatan maksimum gempa pada permukaan tanah (a_{max}) menurut Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 berdasarkan N rata-rata.

N rata-rata pada titik bor BH-05 P4 adalah 18,5337 dan pada titik bor BH-06 P5 adalah 15,5075. Kelas tanah pada lokasi ini untuk N rata-rata = 18,5337 dan 15,5075 adalah kelas tanah sedang. Gambar 3, Gambar 6, serta Gambar 9 pada Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 digunakan

untuk menentukan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dan Nilai PGA di batuan dasar (SPGA). Pada lokasi penelitian, diambil SPGA rata-rata sebesar 0,3 g (Gambar 3), 0,4 g (Gambar 6) dan 0,6 g (Gambar 9). FPGA untuk masing-masing SPGA tersebut menurut kelas tanah sedang adalah 1,2; 1 dan 1. Dari perhitungan a_{max} dimana $a_{max} = FPGA \times SPGA$, diperoleh masing-masing 0,36 g (untuk SPGA = 0,3 dan FPGA = 1,2); 0,4 g (untuk SPGA = 0,4 dan FPGA = 1) dan 0,6 g (untuk SPGA = 0,6 dan FPGA = 1). Nilai a_{max} yang akan digunakan adalah yang terkecil yakni 0,36 g.

Dengan diketahuinya nilai a_{max} maka nilai CSR pada titik bor ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (1). Berikut adalah tabel hasil perhitungan CSR pada titik bor BH-05 P4 dan BH-06 P5:

Tabel 4.1 Tabel Hasil Perhitungan CSR pada titik bor BH-05 P4

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	N-SPT	σ_{vo}	σ'_{vo}	r_d	N rata-rata	a_{max}	CSR
	From	To								
1	2	2.45	Pasir halus	7	34.3	9.8	0.983	18.5337	0.36 g	0.8054
2	4	4.45	Pasir halus	21	71.2	26.7	0.969			0.6049
3	6	6.45	Pasir halus	60	148.4	83.85	0.954			0.3949
4	8	8.45	Pasir halus	37	152.1	67.6	0.931			0.4903
5	10	10.45	Pasir halus	9	146.3	41.8	0.895			0.7334
6	12	12.45	Pasir halus	17	199.2	74.7	0.843			0.5263
7	14	14.45	Pasir halus	21	231.2	86.7	0.779			0.4862
8	16	16.45	Pasir halus	22	263.2	98.7	0.713			0.445
9	18	18.45	Pasir halus	25	295.2	110.7	0.655			0.4087
10	20	20.45	Pasir halus	22	327.2	122.7	0.609			0.3798
11	22	22.45	Pasir halus	29	359.2	134.7	0.574			0.358
12	24	24.45	Pasir halus	23	391.2	146.7	0.547			0.3416
13	26	26.45	Pasir halus	19	423.2	158.7	0.527			0.3291
14	28	28.45	Pasir halus	23	455.2	170.7	0.512			0.3193
15	30	30.45	Pasir halus	19	487.2	182.7	0.499			0.3112

Tabel 4.2 Tabel Hasil Perhitungan CSR pada titik bor BH-06 P5

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	N-SPT	σ_{vo}	σ'_{vo}	rd	N rata-rata	amax	CSR
	From	To								
1	2	2.45	Pasir halus	8	34.3	9.8	0.983	15.5075	0.36 g	0.8054
2	4	4.45	Pasir halus	7	62.3	17.8	0.969			0.794
3	6	6.45	Pasir halus	12	103.2	38.7	0.954			0.5952
4	8	8.45	Pasir halus	15	135.2	50.7	0.931			0.5811
5	10	10.45	Pasir halus	15	167.2	62.7	0.895			0.5588
6	12	12.45	Pasir halus	15	199.2	74.7	0.843			0.5263
7	14	14.45	Pasir halus	16	231.2	86.7	0.779			0.4862
8	16	16.45	Pasir halus	19	263.2	98.7	0.713			0.445
9	18	18.45	Pasir halus	26	295.2	110.7	0.655			0.4087
10	20	20.45	Pasir halus	24	327.2	122.7	0.609			0.3798
11	22	22.45	Pasir halus	26	359.2	134.7	0.574			0.358
12	24	24.45	Pasir halus	21	391.2	146.7	0.547			0.3416
13	26	26.45	Pasir halus	24	423.2	158.7	0.527			0.3291
14	28	28.45	Pasir halus	21	455.2	170.7	0.512			0.3193
15	30	30.45	Pasir halus	22	487.2	182.7	0.499			0.3112

4.3 Perhitungan CRR (*Cyclic Resistant Ratio*)

Perhitungan CRR pada titik bor BH-05 P4 dan BH-06 P5 dilakukan pada kedalaman hingga 30 meter dan pada magnitudo gempa pada skala 6 Mw. Perhitungan CRR dilakukan dengan menghitung koreksi N-SPT atau $(N1)_{60}$ menggunakan persamaan (3), koreksi pasir murni atau $(N1)_{60cs}$ menggunakan persamaan (4a) dan (4b) berdasarkan nilai

Fines Content (FC), nilai $CRR_{7.5}$ menggunakan persamaan (5), koreksi *overburden* menggunakan persamaan (7), dan *Magnitude Scale Factor* (MSF) menggunakan persamaan (9). Nilai CRR berdasarkan magnitudo gempa pada daerah penelitian dihitung menggunakan rumus (6). Berikut adalah tabel hasil perhitungan CRR pada titik bor BH-05 P4 dan BH-06 P5:

Tabel 4.3 Tabel Hasil Perhitungan CRR pada titik bor BH-05 P4

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	(N1)60	FC	(N1)60cs	CRR _{7,5}	MSF 6 Mw	CRR ₆
	From	To							
1	2	2.45	Pasir halus	7.14	51.16	12.75	0.138	1.7698	0.109
2	4	4.45	Pasir halus	24.276	51.16	29.89	0.478	1.7698	0.68
3	6	6.45	Pasir halus	44.556	29.28	49.89	2	1.7698	4.344
4	8	8.45	Pasir halus	34.201	29.28	39.53	2	1.7698	4.522
5	10	10.45	Pasir halus	10.58	29.28	15.91	0.164	1.7698	0.383
6	12	12.45	Pasir halus	15.735	10.86	17.28	0.177	1.7698	0.514
7	14	14.45	Pasir halus	18.043	10.86	19.59	0.201	1.7698	0.644
8	16	16.45	Pasir halus	17.716	10.86	19.26	0.197	1.7698	0.694
9	18	18.45	Pasir halus	19.009	10.86	20.56	0.213	1.7698	0.806
10	20	20.45	Pasir halus	15.889	33.28	21.36	0.224	1.7698	0.905
11	22	22.45	Pasir halus	19.99	33.28	25.46	0.301	1.7698	1.259
12	24	24.45	Pasir halus	15.192	33.28	20.66	0.214	1.7698	0.987
13	26	26.45	Pasir halus	12.066	30.7	17.46	0.178	1.7698	0.894
14	28	28.45	Pasir halus	14.083	30.7	19.47	0.2	1.7698	1.035
15	30	30.45	Pasir halus	11.245	30.7	16.64	0.171	1.7698	0.954

Tabel 4.4 Tabel Hasil Perhitungan CRR pada titik bor BH-06 P5

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	(N1)60	FC	(N1)60cs	CRR _{7,5}	MSF 6 Mw	CRR ₆
	From	To							
1	2	2.45	Pasir halus	8.16	17.45	12.12	0.133	1.7698	0.105
2	4	4.45	Pasir halus	8.092	17.45	12.05	0.133	1.7698	0.164
3	6	6.45	Pasir halus	13.117	17.45	17.08	0.175	1.7698	0.316
4	8	8.45	Pasir halus	16.01	25.22	21.1	0.22	1.7698	0.481
5	10	10.45	Pasir halus	14.397	25.22	19.49	0.2	1.7698	0.509
6	12	12.45	Pasir halus	13.884	20.94	18.51	0.189	1.7698	0.548
7	14	14.45	Pasir halus	13.747	20.94	18.37	0.188	1.7698	0.605
8	16	16.45	Pasir halus	15.3	30.48	20.68	0.214	1.7698	0.748
9	18	18.45	Pasir halus	19.769	30.48	25.15	0.294	1.7698	1.078
10	20	20.45	Pasir halus	17.333	29.38	22.67	0.244	1.7698	0.977
11	22	22.45	Pasir halus	17.922	29.38	23.26	0.254	1.7698	1.08
12	24	24.45	Pasir halus	13.871	29.38	19.21	0.197	1.7698	0.918
13	26	26.45	Pasir halus	15.241	26.56	20.43	0.211	1.7698	1.031
14	28	28.45	Pasir halus	12.859	26.56	18.04	0.184	1.7698	0.968
15	30	30.45	Pasir halus	13.021	25.78	18.15	0.185	1.7698	1.021

4.4 Perhitungan FS (*Factor of Safety*)

Perhitungan nilai FS dilakukan dengan cara membagi nilai CRR dan nilai CSR ($FS = CRR/CSR$), dengan ketentuan apabila $FS < 1$ maka lapisan tersebut berpotensi terjadi likuifaksi dan apabila FS

> 1 maka lapisan tersebut tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Berikut adalah table dan grafik potensi likuifaksi pada titik bor BH-05 P4 dan BH-06 P5:

Tabel 4.5 Tabel Hasil Perhitungan FS pada titik bor BH-05 P4

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	CSR	CRR ₆	FS
	From	To				
1	2	2.45	Pasir halus	0.805384	0.109434	0.135878
2	4	4.45	Pasir halus	0.604917	0.68001	1.124136
3	6	6.45	Pasir halus	0.394873	4.344045	11.00113
4	8	8.45	Pasir halus	0.49028	4.52179	9.222875
5	10	10.45	Pasir halus	0.733413	0.383358	0.522704
6	12	12.45	Pasir halus	0.526323	0.514402	0.977351
7	14	14.45	Pasir halus	0.486237	0.644117	1.324698
8	16	16.45	Pasir halus	0.445014	0.694255	1.560076
9	18	18.45	Pasir halus	0.408685	0.805719	1.971494
10	20	20.45	Pasir halus	0.379802	0.904711	2.382059
11	22	22.45	Pasir halus	0.357968	1.258947	3.516926
12	24	24.45	Pasir halus	0.341609	0.987299	2.890142
13	26	26.45	Pasir halus	0.329125	0.893993	2.716269
14	28	28.45	Pasir halus	0.319279	1.0351	3.241989
15	30	30.45	Pasir halus	0.311212	0.954209	3.066104

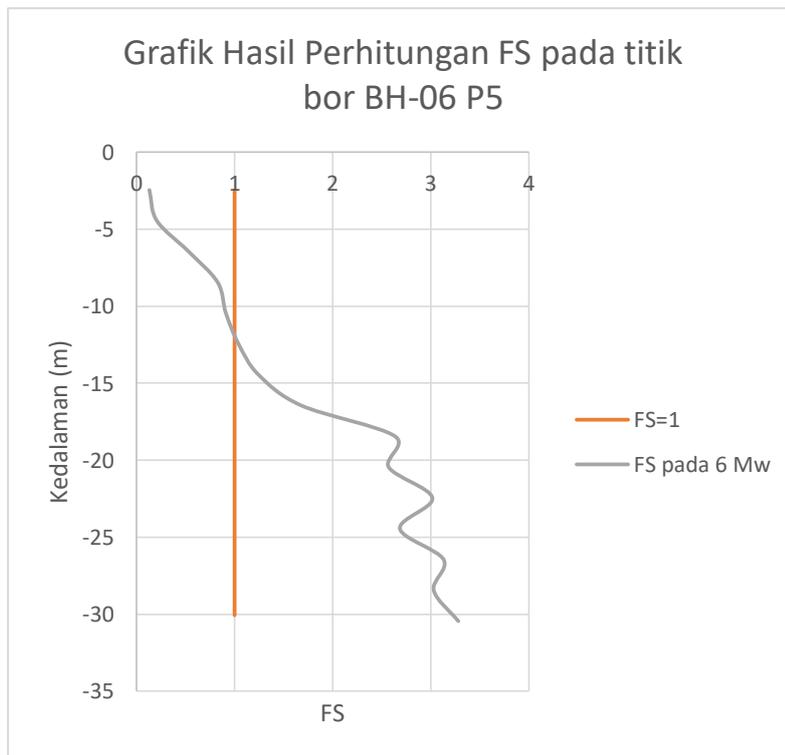
Pada tabel 4.5 dapat diketahui kedalaman yang berpotensi untuk terjadi likuifaksi (berlabel kuning). Kedalaman yang berpotensi untuk terjadi likuifaksi adalah kedalaman 2 meter dan 10 – 12 meter dengan magnitudo gempa 6 Mw. Litologi di setiap kedalaman pada titik bor ini adalah pasir. Pasir yang belum terlitifikasi dan berada pada kedalaman yang cukup dangkal memiliki potensi likuifaksi yang cukup besar karena kondisi pasir yang belum padat sehingga pada saat ada getaran, air akan mengisi pori-pori pada pasir tersebut dan mengakibatkan tahanan geser pada pasir menjadi berkurang. Selain itu, kedalaman yang dangkal juga memiliki potensi likuifaksi yang besar karena tekanan *overburden* yang masih lebih

rendah bila dibandingkan dengan kedalaman yang lebih dalam.

Namun pada tabel dan grafik diatas juga terdapat anomali dimana pasir pada kedalaman 6 – 8 meter memiliki nilai FS yang jauh lebih besar daripada kedalaman < 6 meter maupun > 8 meter. Hal ini disebabkan kondisi pasir pada kedalaman ini sangat padat sehingga mengakibatkan nilai SPT pada kedalaman ini mengalami peningkatan. SPT pada kedalaman 6 meter adalah >60 dan kedalaman 8 meter adalah 37. Nilai SPT yang tinggi mengakibatkan nilai FS pada kedalaman ini mengalami peningkatan dan tidak berpotensi mengalami likuifaksi.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Perhitungan FS pada titik bor BH-06 P5

SPT ke-	Kedalaman		Litologi	CSR	CRR ₆	FS
	From	To				
1	2	2.45	Pasir halus	0.80538	0.10521	0.13063
2	4	4.45	Pasir halus	0.79395	0.16445	0.20713
3	6	6.45	Pasir halus	0.59517	0.31626	0.53138
4	8	8.45	Pasir halus	0.58107	0.48083	0.82749
5	10	10.45	Pasir halus	0.55879	0.50909	0.91105
6	12	12.45	Pasir halus	0.52632	0.54753	1.0403
7	14	14.45	Pasir halus	0.48624	0.60488	1.244
8	16	16.45	Pasir halus	0.44501	0.74845	1.68185
9	18	18.45	Pasir halus	0.40868	1.07769	2.63697
10	20	20.45	Pasir halus	0.3798	0.97665	2.57146
11	22	22.45	Pasir halus	0.35797	1.08014	3.01742
12	24	24.45	Pasir halus	0.34161	0.91762	2.68618
13	26	26.45	Pasir halus	0.32913	1.03087	3.13215
14	28	28.45	Pasir halus	0.31928	0.9679	3.03151
15	30	30.45	Pasir halus	0.31121	1.02134	3.28182



Gambar 4.1 Grafik Hasil Perhitungan FS pada titik bor BH-06 P5

Pada tabel 4.6 dan grafik pada gambar 4.1 dapat diketahui kedalaman yang berpotensi untuk terjadi likuifaksi (berlabel kuning). Kedalaman yang berpotensi untuk terjadi likuifaksi adalah kedalaman 2 – 16 meter dengan magnitudo gempa 8 Mw serta kedalaman 2 – 10 meter dengan magnitudo gempa 6 Mw. Litologi di setiap kedalaman pada titik bor ini adalah pasir. Pasir yang belum terlitifikasi dan berada pada kedalaman yang cukup dangkal memiliki potensi likuifaksi yang cukup besar karena kondisi pasir yang belum padat sehingga pada saat ada getaran, air akan mengisi pori-pori pada pasir tersebut dan mengakibatkan tahanan geser pada pasir menjadi berkurang. Selain itu, kedalaman yang dangkal juga memiliki potensi likuifaksi yang besar karena tekanan overburden yang masih lebih rendah bila dibandingkan dengan kedalaman yang lebih dalam.

5. KESIMPULAN

Analisis potensi likuifaksi pada dua titik bor pada jembatan Holtekamp menunjukkan pada titik titik BH-05 P4 mengalami likuifaksi pada kedalaman 2 meter dan 10 – 12 meter dengan magnitudo 6 Mw dan titik BH-06 P5 mengalami likuifaksi pada kedalaman 2 – 10 meter dengan magnitudo 6 Mw. Potensi likuifaksi yang terdapat di kedalaman berbeda disebabkan kepadatan relatif pada jenis tanah atau batuan dimana semakin urai tanahnya maka potensi likuifaksi-nya akan semakin besar. Nilai SPT juga memengaruhi potensi likuifaksi dimana semakin besar nilai SPT maka potensi likuifaksi-nya cenderung lebih kecil. Selain itu, tekanan overburden juga memengaruhi potensi likuifaksi dimana semakin tinggi tekanan overburden maka potensi likuifaksi-nya akan semakin kecil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya artikel ilmiah ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional XVIII Jayapura atas bantuan dalam memberikan data untuk artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2018. Gempa Bumi. Didapat dari http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat?Gempabumi_-_Tsunami/Gempabumi.bmkg (diakses pada tanggal 14 April 2018)
- Idriss, I.M. and Boulanger, R. W. 2008. *Soil Liquefaction During Earthquakes*
- Irsyam, Masyur dkk. 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Liao, S.S.C., and Whitman, R. V., 1986. Overburden correction Factors for SPT in Sands, *Journal of Geotech.Eng., ASCE*, vol. 112, No.3, p373-377
- Legrans, Roski. 2016. *Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Uji Penetration Test (SPT) di Pesisir Pantai Belang Minahasa Tenggara*. J. TEKNO Vol. 14/No. 65/April 2016
- Robertson, P.K. and Wride C.E. 1998. *Evaluating cyclic liquefaction Potential using the Cone Penetration Test*. Canadian Geotechnical Journal
- Suwarna, N. dan Noya, N. 1995. *Peta Geologi Lembar Jayapura (Peg. Cycloops)*, Irian Jaya, Papua: Bandung
- Youd, T.L. and Idriss, I.M. 2001. *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, April 2001, Vol. 127 No. 4, 297 - 313.