



Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data penyelidikan tanah standard penetration test (SPT) (studi kasus di *cross taxiway* Timur Bandara Soekarno – Hatta Tangerang)

Enden Mina ^{a,1}, Rama Indera Kusuma ^a, Kiki Ariandhika Muzaky ^a

^aJurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman Km. 03, Cilegon - Banten 42435, Indonesia

¹E-mail: enden@untirta.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 1 Juni 2020
Direview pada 29 Juni 2020
Direvisi pada 29 Juni 2020
Disetujui pada 30 Juni 2020
Tersedia daring pada 30 Juni 2020

Kata kunci:

Liquefaction, cyclic stress ratio, cyclic resistance ratio.

Keywords:

Liquefaction, cyclic stress ratio, cyclic resistance ratio.

ABSTRAK

Fenomena likuifaksi sering terjadi setelah kejadian gempa di beberapa tempat. Likuifaksi pada tanah dapat menyebabkan kerusakan yang parah bagi bangunan yang berada di atasnya, sehingga kerugian yang ditimbulkan sangat besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi likuifaksi di wilayah Bandara Soekarno-Hatta Tangerang terutama wilayah *cross taxiway* timur. Metode yang digunakan adalah analisis nilai *safety factor* (SF) yang didapatkan dengan membandingkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) dan *cyclic stress ratio* (CSR) dengan menggunakan parameter tanah yang berasal dari data uji bor *standard penetration test* (SPT). Suatu tanah akan terlikuifaksi apabila memiliki nilai SF kurang dari satu dan tidak terlikuifaksi apabila nilainya lebih atau sama dengan satu. Berdasarkan hasil analisis likuifaksi dengan mengambil nilai percepatan gempa rata-rata sebesar 0.35 g diperoleh hasil bahwa seluruh area *cross taxiway* timur Bandara Soekarno Hatta memiliki potensi untuk mengalami likuifaksi pada kedalaman rata-rata antara 6 meter sampai 8 meter.

ABSTRACT

Liquefaction phenomenon often occurs after earthquake events in several places. Liquefaction of the soil can cause fatal damage to the building above so that the losses incurred are not small. This study aims to determine the potential liquefaction at Soekarno-Hatta Airport in Tangerang, especially in the east cross taxiway area. The method used in this study is the analysis of safety factor values obtained by making a comparison of cyclic resistance ratio (CRR) value with cyclic stress ratio (CSR) value using soil parameters obtained from drill test data of standard penetration test (SPT). The site has the potential of liquefaction when the safety factor less than one and unlicensed to liquefaction when it higher or equal to one. Based on the results of liquefaction analysis by taking an earthquake acceleration value of an average of 0.35 g for Tangerang Area, it can be concluded that the east cross taxiway area of the Soekarno Hatta Airport has the potential liquefaction at an average depth between 6 meters to 8 meters.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/jst.v16i1.8261>.

1. Pendahuluan

Likuifaksi merupakan keadaan dimana tanah berdeformasi dari padat (*solid*) menjadi cair (*liquefied*) seperti bubur yang disebabkan oleh beban siklik yang diterima oleh tanah, salah satunya adalah beban yang diakibatkan oleh gempa bumi. Jenis tanah non-kohefif dan tersaturasi merupakan jenis tanah yang paling sering mengalami kejadian likuifaksi misalnya pasir ataupun tanah yang mengandung banyak pasir didalamnya. Hal ini dikarenakan tanah tersebut banyak memiliki celah diantara partikel-partikelnya yang kemudian terisi dengan air yang mengakibatkan adanya tekanan-tekanan pada partikel tanah tersebut. Likuifaksi juga dapat dipandang sebagai suatu peristiwa hilangnya kekuatan geser tanah akibat meningkatnya tegangan air pori tanah pada saat terjadinya gempa bumi. Pada kondisi tersebut, tanah akan berubah dari keadaan padat menjadi keadaan cair, sehingga menjadi berbahaya bagi bangunan yang berdiri di atasnya. Lapisan tanah yang memiliki potensi mengalami likuifaksi umumnya adalah lapisan tanah pasir yang *loose* atau yang kondisinya jenuh air. Untuk menentukan suatu daerah memiliki potensi likuifaksi atau tidak, dapat dilakukan dengan menggunakan data penyelidikan lapangan seperti

CPT (*cone penetration test*) dan SPT (*standard penetration test*) untuk dilihat potensinya dengan menghitung faktor keamanan tahanan tanah terhadap tegangan yang terjadi akibat beban siklis atau gempa [1, 2].

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada tanah saat terjadi gempa antara lain adalah kepadatan tanah, umur dari deposit, fabrik dan gradasi partikel, riwayat tegangan (regangan), nilai *over consolidation ratio* (OCR), kondisi tegangan in-situ, serta bentuk dari partikel [2]. Dampak yang terjadi pada struktur bangunan akibat terjadinya likuifaksi berbeda-beda tergantung pada jenis struktur bangunannya. Misalnya pada bangunan rumah sederhana ataupun rumah tingkat, pada saat terjadinya likuifaksi kemampuan tanah dalam mendukung pondasi akan berkurang, bahkan bisa jadi hilang sepenuhnya, sehingga dapat memicu amblasnya bangunan rumah tersebut dan rusaknya struktur pondasi bangunan.

Dalam perencanaan suatu struktur bawah diperlukan suatu parameter-parameter tanah berupa komposisi tanah (*soil properties*), sifat teknis tanah (*soil engineering*) serta kandungan mineral yang dikandung oleh tanah. Banyak metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan data kondisi tanah, akan tetapi dalam penelitian ini hanya menggunakan data dari hasil uji *standard penetration test* (SPT) dan *cone penetration test* (CPT). Metode SPT adalah metode penyelidikan tanah berupa percobaan dinamis, dimana pengujian dilakukan dengan menjatuhkan beban dari ketinggian tertentu sehingga ujung konus dapat masuk kedalam tanah. Dalam pengujian ini diperlukan dengan jumlah pukulan untuk mendorong ujung konus dapat menembus jarak tertentu sehingga perbandingannya adalah jumlah pukulan persatuan meter. Beberapa metode analisis potensi likuifaksi dapat berdasarkan penyelidikan lapangan SPT dengan menggunakan pendekatan empiris dan teoritis [5, 4].

Penelitian mengenai potensi likuifaksi sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti Mina *et. al* [5], Kusuma *et. al* [6], Scott dan Timothy [7], Prakash *et. al* [8], serta Liao dan Lum [9]. Potensi likuifaksi di salah satu wilayah Provinsi Banten telah dianalisis oleh Mina *et. al* [5] serta Kusuma *et. al* [6]. Mina *et. al* [5] melakukan penelitian dengan mengambil kasus pada pembangunan gedung baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa di Kabupaten Serang. Dalam [5], analisis potensi likuifaksi menggunakan data SPT dengan metode perhitungan menggunakan perbandingan nilai CRR (*cyclic resistance ratio*) dengan CSR (*cyclic stress ratio*) dengan hasil berupa peta resiko likuifaksi pada lokasi penelitian tersebut.

Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta (Soetta) Tangerang, salah satu infrastruktur penting nasional di Indonesia, memerlukan perhitungan dan perencanaan yang matang dalam rencana pengembangannya. Lokasi bandara berada di wilayah pesisir Pantai Utara Jawa, yang diperkirakan memiliki tanah berpasir dan berpotensi mengalami kejadian gempa yang tinggi, memiliki potensi likuifaksi. Berdasarkan hal tersebut timbul pertanyaan untuk mengetahui bagaimana potensi likuifaksi untuk wilayah Bandar Udara Soetta sebagai salah satu sampel untuk pengembangan peta potensi likuifaksi di Tangerang. Titik penyelidikan pada penelitian ini dilakukan di wilayah *cross taxiway* Timur Bandara Soetta Tangerang.

Potensi likuifaksi di wilayah *runway* dan *taxiway* Bandar Udara Medan mendapatkan hasil perhitungan potensi gempa dimana percepatan gempa batuan dasar yang didapatkan pada frekuensi gempa antara tahun 1973-2012 berdasarkan atenuasi Joyner dan Boore serta atenuasi Crouse berturut-turut adalah sebesar 0,269 g dan 0,131 g [10]. Berdasarkan perhitungan tersebut, disimpulkan bahwa pada lokasi penelitian lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi terdapat pada kedalaman 4 hingga 11 meter di wilayah *Runaway*. Pada wilayah *taxiway*, lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi terdapat pada kedalaman 3 hingga 11 meter dan kedalaman 18 meter.

Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data CPT telah dilakukan oleh Rama *et. al* [6] di wilayah *Sinter Plant* Cilegon dan wilayah *Coke Plant* Krakatau Posco. Hasil penelitian [6] menunjukkan bahwa area tersebut memiliki potensi likuifaksi untuk kedalaman yang bervariasi, antara 0 sampai ± 12 meter. Mina *et. al* [5] menemukan potensi likuifaksi dengan menggunakan SPT di wilayah pembangunan gedung baru UNTIRTA di Desa Sindang Sari Serang Banten. Penelitian [5] menghasilkan kesimpulan bahwa jenis tanah di lokasi tersebut adalah tanah pasir keras dan padat. Berdasarkan analisis *site specific response spectra* gempa untuk wilayah Serang diperoleh hasil yaitu percepatan gempa di permukaan adalah 0.3 g dan ditemukannya potensi likuifaksi pada lapisan tanah di kedalaman 17.5-19.5 m.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Lokasi dan sampel penelitian

Studi kasus dilakukan pada lokasi perluasan wilayah *taxiway* Timur Bandara Soekarno Hatta, Kota Tangerang. Data penyelidikan tanah lapangan yang digunakan pada penelitian ini adalah data SPT sebagai *input* untuk menghitung nilai faktor keamanan sebagai bagian pada analisis potensi likuifaksi. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 yaitu area yang diarsir warna merah.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Sampel penelitian didapatkan dengan cara mengambil titik-titik penyelidikan di wilayah *taxiway* Timur Bandara Soekarno Hatta yang terdiri dari 10 titik data untuk uji CPT dan 40 data untuk uji SPT. Analisis data CPT dilakukan dengan menggunakan CRR dan untuk data SPT menggunakan CRR.

2.2. Metode analisis potensi likuifaksi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah SPT dan CPT, dengan mempertimbangkan nilai beban gempa yang terjadi. Adapun langkah-langkah analisis potensi likuifaksi diuraikan sebagai berikut:

a. Perhitungan percepatan gempa

Percepatan gempa (α_{max}) merupakan percepatan puncak muka tanah akibat getaran gempa yang terjadi. Data percepatan gempa diperoleh melalui analisis *site specific response* (SSR) spectra gempa dengan menggunakan bantuan *software* NERA. *Input* yang dibutuhkan adalah profil tanah berdasarkan data SPT dan CPT dengan mengambil data percepatan gempa yang mewakili wilayah Tangerang.

b. Menghitung nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dengan menggunakan persamaan berikut [1].

$$CSR = 0,65 \left(\frac{\alpha_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) rd \tag{1}$$

dengan:

- α_{max} = Percepatan gempa maximum
- σ_{vo} = Tegangan total
- σ'_{vo} = Tegangan efektif
- rd = Koefisien tegangan reduksi.

c. Rasio tegangan total dengan tegangan efektif dihitung dengan persamaan-persamaan yang terdapat pada teori mekanika tanah. Rasio tegangan total dihitung dengan [11]:

$$\sigma = H\gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat} \tag{2}$$

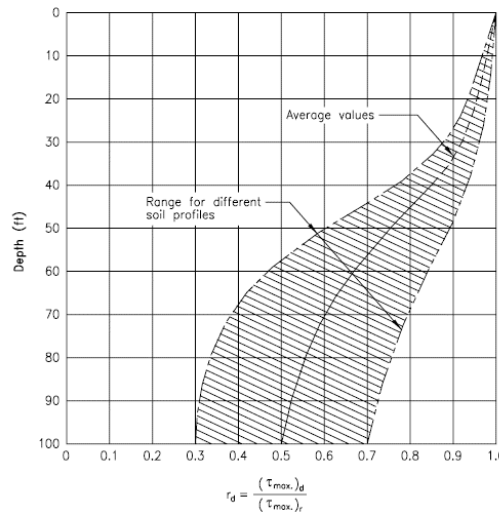
dengan:

- σ = Tegangan total
- γ_w = Berat volume air (9.81 kN/m³)
- γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh air
- H = Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah
- H_A = Jarak antara titik A dan muka air

d. Untuk mempermudah perhitungan dalam menentukan rata-rata nilai tengah (plot) yang mengacu pada Gambar 2, TF Blake [12] membuat persamaan sebagai berikut:

$$r_d = \frac{(100 - 0.4113z)^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{(1.000 - 0.4177z)^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2} \tag{2}$$

dengan z = Kedalaman tanah yang ditinjau (m).



Gambar 2. Koefisien r_d versus kedalaman yang ditinjau [1].

Menghitung nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) dengan menggunakan persamaan Seed dan Idris [1, 2, 13]. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai CRR berdasarkan nilai N-SPT adalah persamaan (3), dan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai CRR berdasarkan nilai CPT dengan menggunakan persamaan (4) [4].

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right] \tag{3}$$

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{(q_{c/N})_{cs}}{540} + \left(\frac{(q_{c/N})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c/N})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c/N})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right] \tag{4}$$

- e. Penentuan potensi likuifaksi didapat dengan menghitung nilai faktor keamanan lapisan tanah terhadap likuifaksi berdasarkan perbandingan CRR terhadap CSR, sebagai berikut:

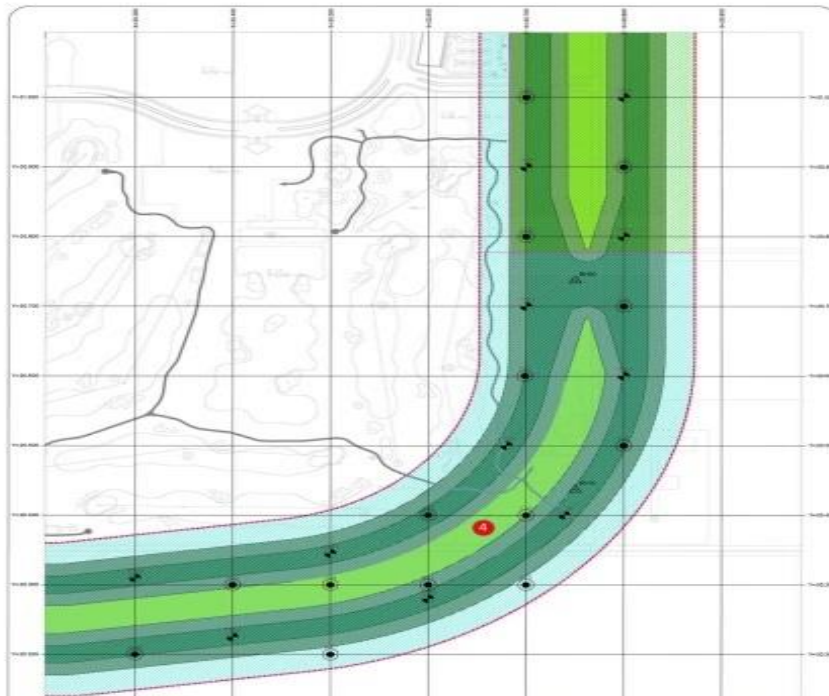
$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5)$$

2.3. Peta potensi likuifaksi

Peta potensi likuifaksi di batasan wilayah yang ditinjau dilakukan bantuan Autocad. Berdasarkan peta ini dapat dilihat gambaran potensi dan titik-titik yang memiliki potensi terjadi likuifaksi dan kedalamannya. Kesimpulan diambil dari hasil analisis data dan perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan nilai keamanan (SF) lapisan tanah terhadap likuifaksi. Jika $SF < 1$ maka lokasi memiliki potensi terjadi likuifaksi jika $SF \geq 1$ maka sebaliknya.

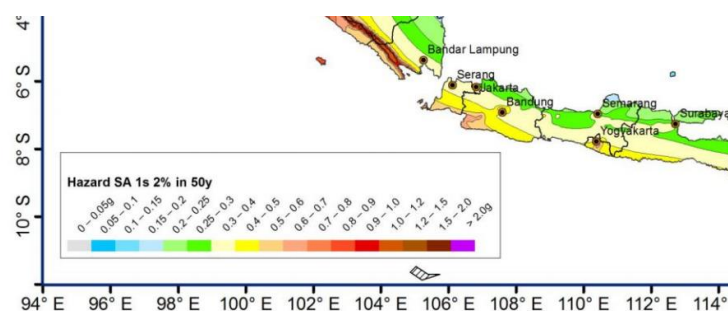
3. Hasil dan Pembahasan

Analisis potensi likuifaksi secara garis besar merupakan perbandingan nilai CSR dan CRR. Jika nilainya lebih dari satu maka lapisan tersebut aman dari likuifaksi sedangkan jika nilai kurang dari satu maka lapisan tanah tersebut berpotensi terjadi likuifaksi. Analisis langkah pertama yaitu menganalisis profil tanah yang memenuhi syarat terjadi likuifaksi, mencari nilai CSR, nilai CRR, dan kemudian membandingkan nilai tersebut untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FS). Berdasarkan nilai FS tersebut maka dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah tersebut aman atau tidak aman terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Layout lokasi *cross taxiway* Bandara Soetta dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan lokasi titik-titik penyelidikan tanah CPT dan SPT. Sedangkan hasil perhitungan analisis likuifaksi pada salah satu titik (S01) dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Peta Persebaran titik SPT di lokasi penelitian [14].

Dengan mengambil nilai percepatan gempa berdasarkan analisis *seismic hazard* gempa dan *site specific response spectra* gempa untuk wilayah Tangerang dimana percepatan gempa di permukaan yang dihasilkan adalah 0.35g-0.36g ($g =$ Percepatan gravitasi) sesuai dengan peta gempa yang dikeluarkan oleh PUSKIM (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman) Indonesia Tahun 2017 disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa beberapa titik di lokasi penelitian memiliki potensi likuifaksi di beberapa kedalaman tanahnya. Perhitungan analisis potensi likuifaksi pada titik BH-04 dan BH 08 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Grafik nilai CRR dan CSR terhadap kedalaman untuk masing-masing titik dibuat salah satu grafik seperti terlihat pada Gambar 3 untuk titik BH-04.



Gambar 4. Peta percepatan gempa di Indonesia [15].

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan titik BH 04.

Kedalaman (m)	CRR	CSR	FS	Potensi likuifaksi
2	1.757	0.224	2.00	NL
4	0.459	0.221	2.00	NL
6	0.163	0.217	0.75	L
8	0.344	0.243	1.42	NL
10	0.328	0.255	1.29	NL
12	0.437	0.255	1.71	NL
14	0.652	0.247	2.00	NL
16	0.917	0.233	2.00	NL
18	0.462	0.220	2.00	NL
20	0.433	0.208	2.00	NL
22	0.340	0.198	1.71	NL
24	0.295	0.192	1.54	NL
26	0.210	0.186	1.13	NL
28	0.197	0.182	1.08	NL
30	0.187	0.179	1.05	NL
32	0.178	0.176	1.01	NL
34	0.170	0.173	0.98	NL
36	0.164	0.171	0.96	NL
38	0.158	0.169	0.94	NL

Keterangan: L=likuifaksi dan NL= non likuifaksi (Sumber: [14]).

Contoh hasil perhitungan potensi likuifaksi dengan data SPT dapat diuraikan berikut:

1). Data SPT

Nomor lapisan : 17
 Jenis tanah : Pasir
 Kedalaman lapisan : 34 m
 Ground water level : 8 m
 N-SPT : 60
 Percepatan gempa (a_{max}) : 0.349 g

2). Tegangan total (σ) [16].

$$\begin{aligned}\sigma &= (h \times \gamma_{sat}) + \sigma_{lapisan\ atas} \\ &= (2 \times 23) + 694,71 \\ &= 740.71 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

3). Tegangan efektif (σ') [17].

$$\begin{aligned}\sigma' &= (h \times \gamma) + \sigma'_{lapisan\ atas} \\ &= (h \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)) + \sigma'_{lapisan\ atas} \\ &= (2 \times (23 - 9,81)) + 439.65 \\ &= 466.03 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

4). Reduksi tegangan (r_d)

$$\begin{aligned}r_d &= \frac{(1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \\ &= \frac{(1 - 0.4113(38)^{0.5} + 0.04052(38) + 0.001753(38)^{1.5})}{(1 - 0.4177(38)^{0.5} + 0.05729(38) - 0.006205(38)^{1.5} + 0.001210(38)^2)} \\ &= 0.48 \text{ m}\end{aligned}$$

5). Cyclic stress ratio (CSR)

$$\begin{aligned}CSR &= 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma}{\sigma'} \right) \times r_d \\ &= 0.65 \left(\frac{0.349g}{g} \right) \times \left(\frac{740.71}{466.03} \right) \times 0.48 \\ &= 0.173\end{aligned}$$

6). Faktor koreksi ($(N_1)_{60}$)

$$\begin{aligned}C_N &= \frac{2.2}{\left(1.2 + \frac{\sigma'}{Pa}\right)} = \frac{2.2}{\left(1.2 + \frac{466.03}{98.066}\right)} = 0.37 \\ C_E &= 1; C_B = 1; C_R = 0,75; C_S = 1 \\ (N_1)_{60} &= N_m C_N C_E C_B C_R C_S\end{aligned}$$

$$= 60 \times 0,37 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1$$

$$= 16,63$$

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

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

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

$$= 0 + 1 \times 16,63$$

$$= 16,63$$

8). Cyclic resistance ratio ($CRR_{7,5}$)

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

$$= \exp\left(\frac{16,63}{14,1} + \left(\frac{16,63}{126}\right)^2 + \left(\frac{16,63}{23,6}\right)^3 + \left(\frac{16,63}{25,4}\right)^4 + 2,8\right)$$

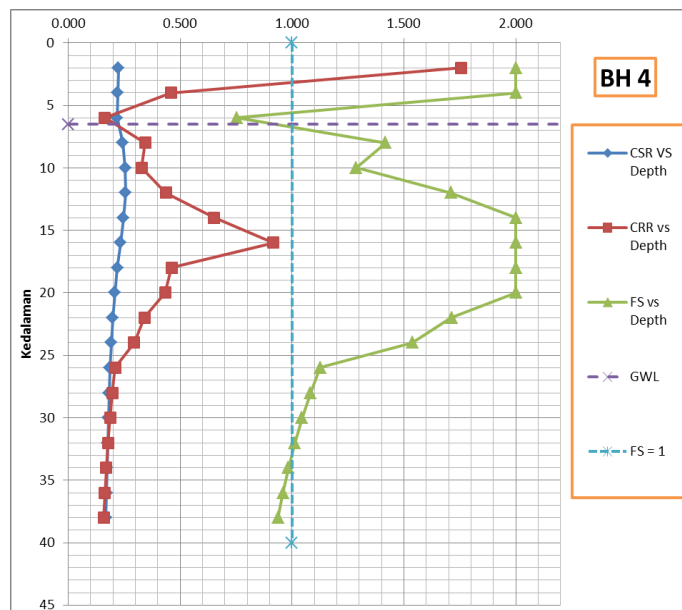
$$= 0,170$$

9). Faktor keamanan (FS)

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

$$= \frac{0,170}{0,173}$$

$$= 0,98 < 1 \text{ (Terlikuifaksi)}$$



Gambar 5. Grafik CSR, CRR, FS vs Depth BH04 [14].

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis potensi likuifaksi titik BH08 [14].

Lapisan	Depth (m)	Jenis	N-SPT	CRR7,5	Amax(g)	CSR	FS	L/NL
1	2	Lempung lanau	22	0.70	0.36	0.23	2.00	NL
2	4	Lempung lanau	24	0.58	0.36	0.30	1.93	NL
3	6	Lempung lanau	22	0.33	0.36	0.33	1.00	L
4	8	Lempung lanau	12	0.16	0.36	0.34	0.47	L
5	10	Lempung lanau	22	0.24	0.36	0.35	0.71	L
6	12	Lempung lanau	15	0.17	0.36	0.34	0.49	L
7	14	Lempung lanau	25	0.24	0.36	0.32	0.74	L
8	16	Lempung pasir	23	0.20	0.36	0.30	0.69	L
9	18	Lempung pasir	28	0.23	0.36	0.27	0.84	L
10	20	Lempung pasir	31	0.23	0.36	0.25	0.93	L
11	22	Pasir kerikilan	52	0.62	0.36	0.24	2.00	NL
12	24	Pasir kerikilan	56	0.63	0.36	0.23	2.00	NL
13	26	Pasir kerikilan	45	0.30	0.36	0.22	1.38	NL
14	28	Pasir kerikilan	46	0.29	0.36	0.21	1.35	NL
15	30	Pasir kerikilan	60	0.46	0.36	0.21	2.00	NL

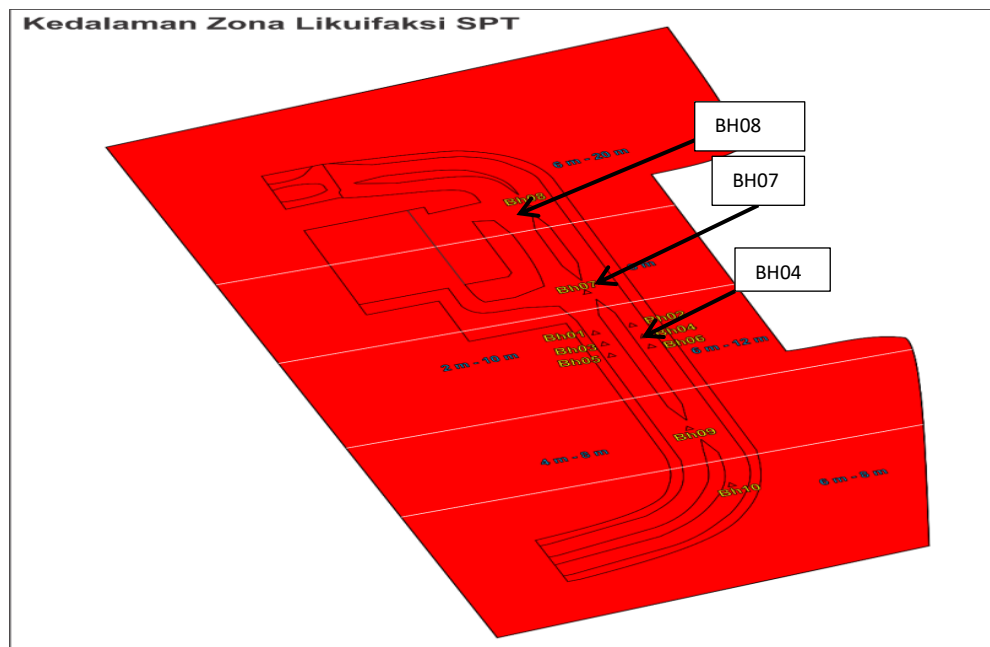
16	32	Pasir kerikilan	60	0.39	0.36	0.20	1.95	NL
17	34	Pasir kerikilan	60	0.35	0.36	0.20	1.77	NL
18	36	Pasir kerikilan	60	0.32	0.36	0.19	1.63	NL
19	38	Pasir kerikilan	60	0.29	0.36	0.19	1.53	NL

Hasil dari perhitungan analisis potensi likuifaksi untuk 10 titik yang tersebar di lokasi *cross taxiway* timur Bandara Soekarno Hatta ditampilkan dalam bentuk rangkuman pada Tabel 3.

Tabel 3. Resume hasil perhitungan dari data SPT [14].

No	Titik	Kedalaman (m)	fs terkecil	Keterangan
1	BH01	6 - 10	0.672	Likuifaksi
2	BH02	6 - 8	0.525	Likuifaksi
3	BH03	6 - 8	0.665	Likuifaksi
4	BH04	6	0.73	Likuifaksi
5	BH05	2 - 8	0.502	Likuifaksi
6	BH06	6 - 12	0.851	Likuifaksi
7	BH07	8	0.453	Likuifaksi
8	BH08	6 - 20	0.468	Likuifaksi
9	BH09	4 - 8	0.514	Likuifaksi
10	BH10	6 - 8	0.714	Likuifaksi

Berdasarkan perhitungan potensi likuifaksi semua titik penyelidikan yang ada, dapat disimpulkan bahwa masing-masing titik di lokasi tersebut memiliki potensi likuifaksi dengan beberapa variasi kedalaman seperti Tabel 2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada kedalaman rata-rata 6 meter sampai 8 meter di setiap titik memiliki potensi likuifaksi. Peta atau gambaran titik-titik dengan potensi likuifaksi dengan kedalamannya disajikan dalam Gambar 3. Lapisan yang paling sedikit mengalami potensi likuifaksi ada pada titik BH 04 dan BH 07 dengan hanya di kedalaman 6 meter dan 8 meter berturut-turut yang memiliki potensi likuifaksi. Sedangkan untuk titik yang memiliki tebal lapisan dengan potensi likuifaksi tertinggi pada titik BH08 dimana tebal lapisan yang beresiko mengalami likuifaksi dari kedalaman 6 meter sampai 20 meter.



Gambar 6. Layout potensi likuifaksi berdasarkan data SPT di lokasi *cross taxiway* bandara Soekarno Hatta.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis profil tanah pada lokasi penelitian untuk area *cross taxiway* Timur Bandara Soekarno Hatta, pada lapisan atas didominasi tanah lempung dengan nilai N-SPT cenderung kecil dan lapisan bawah dominan tanah pasir keras dan padat dengan nilai rata-rata nilai N-SPT yang cukup besar. Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan (FS) berdasarkan data N-SPT dapat disimpulkan bahwa hampir semua titik memiliki potensi likuifaksi di kedalaman tertentu. Berdasarkan pengolahan data rata-rata kedalaman yang memiliki potensi likuifaksi berada pada kedalaman 6 m sampai 8 meter. Secara

keseluruhan hanya satu titik yang potensi likuifaksinya paling rendah yaitu di titik BH 7, dimana hanya di kedalaman 8 meter yang menunjukkan adanya potensi likuifaksi. Potensi likuifaksi paling tinggi ada di satu titik dengan tebal lapisan yang berpotensi terlikuifaksi dari kedalaman 6 meter sampai 20 meter. Dengan demikian lokasi *cross taxiway* perlu untuk melakukan alternatif pemecahan masalah dalam mengurangi dampak kejadian likuifaksi di lokasi tersebut salah satu caranya dengan menerapkan *stone column* di titik lokasi yang berpotensi.

4.2. Saran

Beberapa saran berdasarkan hasil penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Terjadinya likuifaksi tidak semata-mata dilihat dari nilai SPT atau nilai tahanan ujung (CPT), namun juga bergantung pada gradasi butiran pada tanah tersebut. Untuk itu perlu adanya pengujian lebih lanjut dengan uji gradasi butiran, kemudian dikorelasikan dengan hasil perhitungan potensi likuifaksi di beberapa titik pengujian.
- b. Dari hasil yang didapatkan bahwa banyak titik yang memiliki potensi likuifaksi, sehingga dibutuhkan sebuah usaha perbaikan tanah yang dapat berupa pemadatan lahan, perbaikan tanah dengan menggunakan kolom-batu (*stone column*), *vibroflotation*, *deep dynamic compaction*, *compaction grouting*, *deep soil mixing* maupun *jet grouting* yang tentunya dipadukan dengan pembuatan saluran drainase yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, vol. 97, no. SM9, proc paper 8371, pp. 1249-1273.
- [2] Steven, K. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung, R. M. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of geotechnical engineering*, vol. 111, no. 12, pp. 1425-1445.
- [4] Seed, H. B., & De Alba, P. (1986). Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands. In *Use of in situ tests in geotechnical engineering* pp. 281-302. ASCE.
- [5] Mina, E., Kusuma, R. I., & Sudirman, S. (2017). Analisis potensi likuifaksi berdasarkan data SPT (Studi kasus proyek pembangunan gedung baru Untirta Sindang Sari). *Jurnal Fondasi*, vol. 7, no. 1, pp. 11-21.
- [6] Kusuma, R. I., Mina, E., & Kurniawan, N. (2014). Analisis potensi likuifaksi dari data CPT (Studi kasus sinter & coke plant area Krakatau Posco). *Jurnal Fondasi*, vol. 3, no. 1, pp. 73-81.
- [7] Scott, O. M., & Timothy, S. D. (1998). CPT based liquifaction resistance of sandy soils. *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic III Geotechnical Special Publication*, vol. 75, no. 1, pp. 325-336.
- [8] Prakash, S., Guo, T., & Kumar, S. (1998). Liquefaction of silts and silt clay mixtures. *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic III Geotechnical Special Publication*, vol. 75, no. 1, pp. 337-348.
- [9] Liao, S.C. S & Lum, Y. K (1998). Stastistical analysis and application of magnitude sacling factor in liquifaction analysis. *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic III Geotechnical Special Publication*, vol. 75, no. 1, pp. 410-421.
- [10] Siringoringo, A. L., & Iskandar, R. (2014). Analisis potensi likuifaksi pada sektor *runway* dan *taxiway* Bandar Udara Medan Baru. *Jurnal Teknik Sipil USU*, vol. 2, no. 3.
- [11] Das, Braja M. (1993). *Mekanika Tanah Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [12] Blake, T. F. (1997). Formula (4), summary report of proceedings of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Technical report NCEER*, 97-0022.
- [13] Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1982). *Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Institute.
- [14] Mina, E., Kusuma, R. I., & Muzaky, K. A. (2019). *Analisis pendahuluan potensi likuifaksi di Bandar Udara Soekarno-Hatta*. Tidak dipublikasikan.
- [15] Irsyam, Mahsyur *et. al* (2017). *Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Penelitan dan Pengembangan Pemukiman.
- [16] Youd, T. L., & Idriss, I. M. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, vol. 127, no. 4, pp. 297-313.
- [17] Seed, H. B. & Peacock, W. H. (1971). Test procedure for measuring soil liquefaction characteristics. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 97(SM8), pp. 1099-1119.