CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588

ANALISIS METODE PERBAIKAN *STONE COLUMN* DI TANAH PASIR LEPAS PADA ZONA POTENSI LIKUIFAKSI

Cardina Listiyanti [1], Y. Djoko Setiyarto[2], Sherly Meiwa [3]

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia
E-mail: cardinalistiyanti24@gmail.com [1], y.djoko.setiyarto@email.unikom.ac.id [2],
meiwasherlycivil@gmail.com [3]

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan salah satu permasalahan dalam ilmu geoteknik khususnya pada tanah pasir lepas. Metode yang digunakan untuk analisis potensi likuifaksi adalah menggunakan data nilai SPT. Pada analisis ini, likuifaksi akan terjadi jika nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah kurang dari atau sama dengan satu (FS ≤ 1). Nilai dari FS ini dihasilkan dari perbandingan nilai tingkat tahanan tanah terhadap likuifaksi (CRR) dengan nilai tingkat pembebanan siklik yang dialami tanah akibat gempa bumi (CSR). Sehingga untuk lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi akan dihitung besar settlement yang terjadi menggunakan grafik Tokimatsu (1987) dan grafik Ishihara (1992). Akibat Peristiwa likufaksi perlu adanya langkah dalam perbaikan tanah sehingga dampak dari fenomena likuifaksi bisa direduksi. Untuk analisis perbaikan tanah itu sendiri menggunakan metode stone column. Stone column merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang cukup baik untuk tanah yang berpotensi likuifaksi khususnya pada tanah pasir lepas. Dalam analisisnya, stone column dapat meningkatkan nilai FS atau daya dukung tanah beserta dapat mereduksi settlement yang terjadi. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis tentang studi parametrik Stone Column. Studi parametrik ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari masing-masing parameter yang ditentukan dalam perhitungan stone column terhadap nilai FS atau daya dukung tanah yang dihasilkan serta reduksi settlement yang terjadi.

Kata kunci: *Likuifaksi, SPT, Pasir Lepas, Stone Column, Settlement*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terjadinya gempa bumi yaitu gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Salah satu dampak dari gempa yang merugikan dan berbahaya dalam konstruksi adalah Likuifaksi. Salah satu jenis gempa yang sering memicu terjadinya Likuifaksi adalah jenis gempa tektonik. Dampak dari peristiwa likuifaksi sendiri adalah pergeseran dan penurunan permukaan tanah dalam skala besar bahkan mampu menyebabkan kerusakan strukrur yang cukup berat. Dilihat dari dampak yang begitu bahaya, maka sangat diperlukan adanya tindakan untuk mengurangi dampak dari likuifaksi itu sendiri. *Stone column* (tiang batu) merupakan salah satu metode perbaikan tanah bagian dalam yang cukup baik bagi pelapisan tanah yang berpotensi terjadinya likuifaksi (Ramadhan 2011). Dengan menerapkan penggunaan *stone column* sebagai perbaikan tanah, diharapkan tanah yang berpotensi mengalami Likuifaksi dapat mengasilkan kapasiatas daya dukng tanah yang cukup besar sehingga dampak dari Likuifaksi sendiri dapat diminimalisir. Selain itu, dengan penggunaan *stone column* juga diharapkan dapat mereduksi *settlement* yang terjadi akibat likuifaksi itu sendiri.

Dari beberapa metode analisis, penulis menggunakan metode analisis potensi likuifaksi berdasarkan data nilai *Standart Penetration Test* (SPT). Dan untuk analisis perbaikan tanah itu sendiri, penulis menggunakan metode *stone column* (tiang batu). Selain itu, juga akan disajikan studi parametrik tentang *stone column* dengan beberapa variasi yang ditentukan yaitu diameter, spasi dan tipe konfigurasi. Sehingga dapat diketahui hubungan pada masing-masing parameter dalam perhitungan *stone column* terhadap faktor keselamatan dan *settlement* yang terjadi.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Likuifaksi

Likuifaksi (*liquefaction*) merupakan salah satu peristiwa perubahan berbahaya sifat tanah dari

sifat padat menjadi sifat cair, yang disebabkan oleh beban siklik pada saat terjadinya gempa yang mengakibatkan tekanan air pori meningkat hampir atau hingga melampaui tegangan vertikal.

2.2 Analisis Potensi Likuifaksi

2.2.1 Metode Evaluasi CSR

Untuk menganalisis nilai CSR, dalam penulisan ini menggunakan persamaan dari Seed & Idriss (1971) :

$$CSR = 0.65 * \frac{amax}{g} * \frac{\sigma v}{\sigma' v} * rd \quad \text{(pers.1)}$$

Untuk r_d menggunakan persamaan dengan ketentuan sebagai berikut.

untuk z ≤ 9.15 m

$$rd = 1.0 - 0.00765 * z \quad \text{(pers.2)}$$

untuk 9.15 < z ≤ 23 m

$$rd = 1.174 - 0.0267 * z \quad \text{(pers.3)}$$

Atau menggunakan rumus korelasi r_d sebagai berikut.

$$rd = \frac{(1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2} \quad \text{(pers.4)}$$

Dimana:

a_{max} = Percepatan maksimum gempa di permukaan tanah (g)
g = Percepatan Gravitasi bumi (m/s^2)
$\sigma' v$ = Tegangan efektif tanah di kedalaman z (kN/m^2)
σv = Tegangan total tanah di kedalaman (kN/m^2)
r_d = Koefisien reduksi tegangan
z = Kedalaman

2.2.2 Metode Evaluasi CRR

Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan CRR.

$$CRR7.5 = \frac{1}{34-(N_1)60} + \frac{(N_1)60}{135} + \frac{50}{[10*(N_1)60+45]^3} - \frac{1}{200} \quad \text{(pers.5)}$$

Dimana $(N_1)_{60}$ diatas adalah $(N_1)_{60}cs$

$$(N_1)60cs = \alpha + \beta(N1)60 \quad \text{(pers.6)}$$

$$(N_1)60 = N_M C_N C_E C_B C_R C_S \quad \text{(pers.7)}$$

N_M merupakan nilai N_{SPT} sedangkan untuk faktor koreksi dilihat dari gambar tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Tabel faktor koreksi (Youd 2001)

Factor	Equipment variable	Term	Correction
Overbuden pressure	-	C_N	$2.2/(1.2 + \sigma'_{vo} / P_a) \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5 - 1.0
	Safety hammer	C_E	0.7 - 1.2
	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8 - 1.3
Borehole diameter	65 - 115 mm	C_B	1.0
	150 mm	C_B	1.05
	200 mm	C_B	1.15
Rod length	< 3m	C_R	0.75
	3 - 4 m	C_R	0.8
	4 - 6 m	C_R	0.85
	6 - 10 m	C_R	0.95
	10 -30 m	C_R	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0
	Sampler without liners	C_S	1.1 - 1.3

Dimana α dan β adalah sebuah koefisien dengan ketentuan berikut ini.

α = 0 untuk FC ≤ 5% (pers.8)

untuk 5% < FC < 35%
$\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)]$ (pers.9)
α = 0.5 untuk FC ≥ 35% (pers.10)
β = 1.0 untuk FC ≤ 5% (pers.11)

untuk 5% < FC < 35%
$\beta = [0.99 + (FC^{1.5}/1000)]$ (pers.12)

β = 1.2 untuk FC ≥ 35% (pers.13)

Dimana:

- CRR7.5= *Cyclic Resistance Ratio* direfrensi gempa (Mw = 7.5)
- (N1)60 .cs = Nilai (N1)60 yang sudah dikoreksi tegangan tanah
- (N1)60 = Nilai SPT yang sudah dikoreksi tegangan tanah
- FC = *Fines Content* (%)

2.2.3 Metode Evaluasi FS

Dari nilai faktor keamanan ini dapat diketahui tanah tersebut berpotensi likuifaksi atau tidak. Dimana untuk keamanan dipakai FS > 1.1 . Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} * MSF \quad \text{(pers.14)}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} * MSF * K\sigma * K\alpha \quad \text{(pers.15)}$$

Dimana:

CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588

K_σ = faktor koreksi untuk tegangan efektif
K_α = faktor koreksi untuk kemiringan lereng

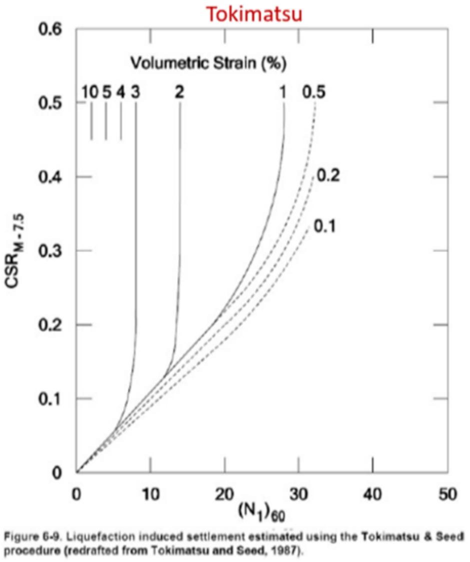
Untuk nilai MSF menggunakan persamaan Youd & Noble (1997), dengan persamaan sebagai berikut.

$$MSF = 10^{2.44}/Mw^{2.56} \quad \text{(pers.16)}$$

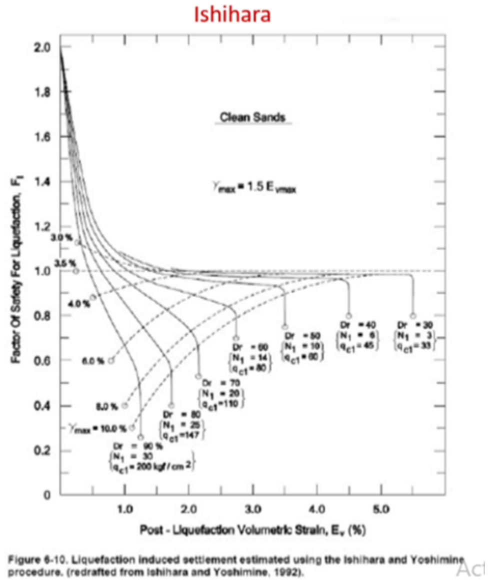
Dimana Mw adalah magnitude gempa

2.3 Analisis Settlement akibat Likuifaksi

Ishihara dan Yoshimine (1992) merumuskan suatu hubungan antara regangan volumtrik (ε_v), N-SPT awal (N_1), dan faktor keamanan terhadap likuifaksi (FS). Nilai regangan volumtrik sebagai akibat disipasi tekanan air pori saat guncangan gempa akan digunakan untuk perhitungan penurunan permukaan tanah. Tokimatsu dan Seed (1987) juga merumuskan hubungan antara nilai CSR dan nilai dari (N1)60. Hubungan tersebut disajikan pada gambar diagram grafik berikut.



Gambar 1 Gambar diagram grafik Tokimatsu (Tokimatsu et all 1987)

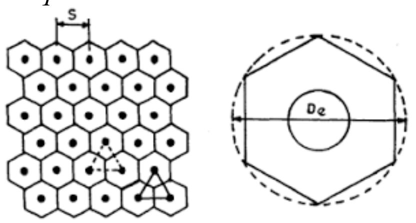


Gambar 2 Gambar diagram grafik Ishihara (Ishihara et all 1992)

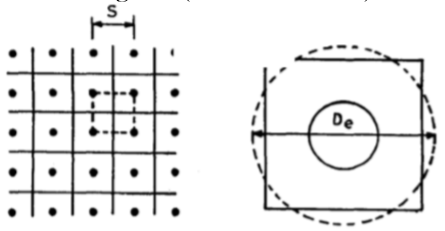
2.4 *Stone Column*

Dalam perencanaan *stone column* melibatkan tiga parameter umum yang harus ditentukan terlebih dahulu, yaitu :

1. Konfigurasi pemasangan *stone column*
   Konfigurasi pemasangan *stone column* umumnya terdiri dari konfigurasi *Triangular* dan *Square*.



Gambar 3 Konfigurasi pemasangan *stone column triangular* (Ramadhan 2011)



Gambar 4 Konfigurasi pemasangan *stone column square* (Ramadhan 2011)

2. Diameter *stone column*
   Untuk ukuran diameter *stone column* ditentukan berdasarkan kebutuhan seberapa efektif diameter yang dibutuhkan.
3. Jarak atau spasi antar *stone column*
   Jarak atau spasi pusat ke pusat *stone column* disesuaikan dengan kebutuhan untuk

mendapatkan desain yang efektif.

2.3.1 Metode Evaluasi Nilai FS'

Untuk konfigurasi *Triangular*

$$De = 1.05 * S \qquad \text{(pers.17)}$$

untuk konfigurasi *Square*

$$De = 1.13 * S \qquad \text{(pers.18)}$$

$$a_S = \frac{A_S}{A} \qquad \text{(pers.19)}$$

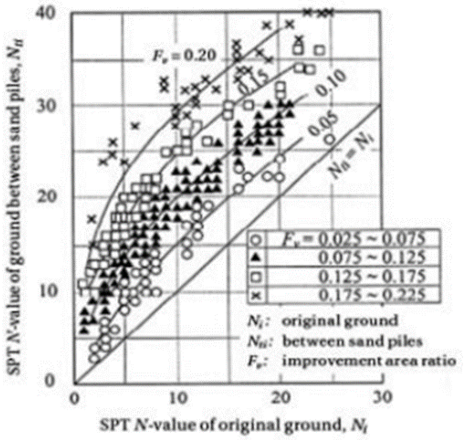
$$a_C = \frac{A - A_S}{A} \qquad \text{(pers.20)}$$

$$A_S = \frac{1}{4}\,\pi D^2 \qquad \text{(pers.21)}$$

$$A = \frac{1}{4}\,\pi {D_e}^2 \qquad \text{(pers.22)}$$

Dimana
S = jarak antar *Stone Column*
A = luas penampang *unit cell*
A_S = luas penampang *stone column*
D = diameter *stone column*
D_e = diameter ekivalen

Peningkatan N-SPT tanah diantara *stone column* yang diakibatkan oleh getaran *vibroprobe* yang digambarkan oleh grafik hubungan kenaikan N-SPT dengan *area replacement ratio* (a_s). penggunaan grafik ini pada desain *stone column* merupakan adaptasi dari metode perbaikan tanah *sand compaction pile*. Grafik yang dimaksud adalah sebagai berikut.



Gambar 5 Grafik hubungan kenaikan N-SPT dengan nilai a_s (Kitazume 2004)

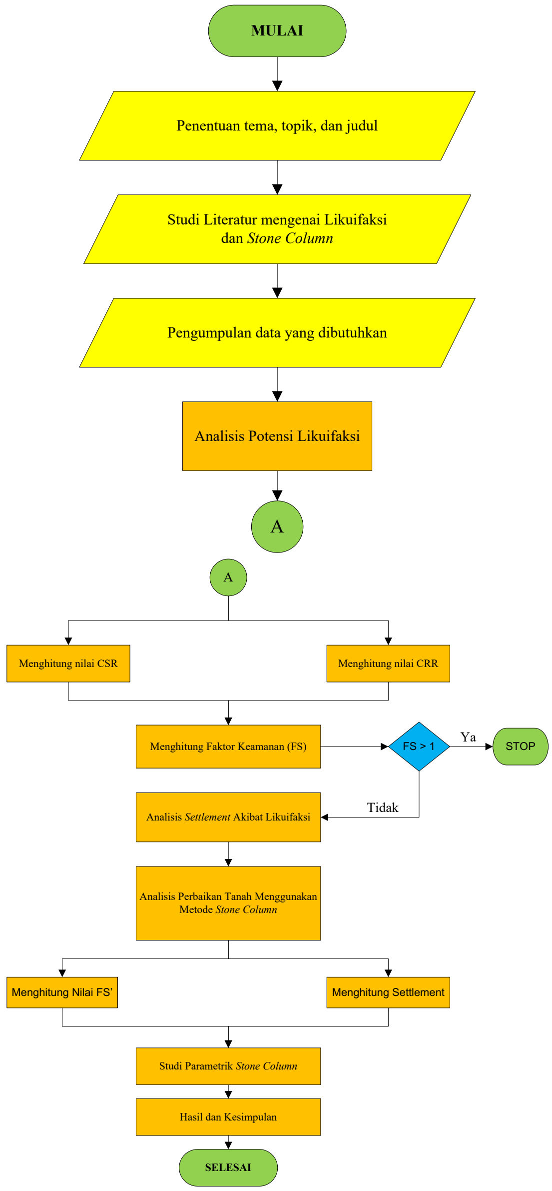
N-SPT tanah diantara *stone column* ini kemudian akan digunakan dalam perhitungan CRR kembali untuk mendapatkan nilai tahanan tanah perbaikan terhadap Likuifaksi sehingga akan menghasilkan nilaI FS'. Dimana FS' merupakan besarnya faktor keamanan setelah pemasangan *stone column*.

2.3.2 Metode Evaluasi *Settlement*

Selain dapat meningkatkan daya dukung tanah, penggunaan *stone column* sebagai metode perbaikan tanah juga diharapkan bisa mereduksi besar penururan yang terjadi akibat dari likuifaksi. Menentukan besar *settlement* yang terjadi setelah pemasangan *stone column* akibat terjadinya likuifaksi menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_t = H\left(\frac{Cc}{1+e_o}\right)\log\left(\frac{\sigma_o+\sigma_c}{\sigma_o}\right) \qquad \text{(pers.23)}$$

3. METODE PENELITIAN



Gambar 6 Diagram Alur Penelitian

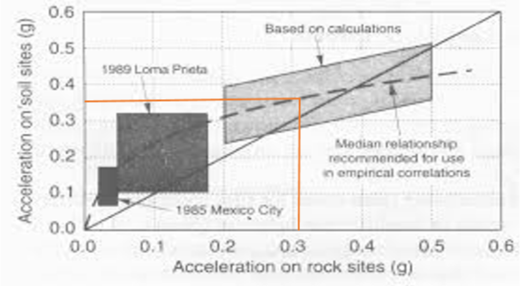
CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Potensi Likuifaksi

➢ **PSA (*Peak Surface Acceleration*)**

Dengan nilai PGA yang digunakan sebesar 0,31. Sehingga nilai PSA atau amax yang diperoleh adalah sebesar 0,35. Dengan grafik korelasi sebagai berikut.



Gambar 7 Hasil korelasi PGA dan PSA yang akan digunakan

➢ **MSF (*Magnitude Scalling Factor*)**

Mw yang dipakai diasumsikan 7 magnitude. Sehingga nilai Mw yang didapat sebagai berikut.

$$MSF = 10^{2.44}/Mw^{2.56} \qquad \text{(pers.16)}$$
$$MSF = 10^{2.44}/7^{2.56}$$
$$MSF = 1{,}19274888$$

➢ **Perhitungan CSR**

Dengan nilai PSA atau a_{max}/g yang digunakan adalah hasil dari perhitungan sebelumnya, sehingga hasil untuk perhitungan CSR disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1 Hasil perhitungan CSR

Layer ke-	Depth (m)	Thickness (m)	N-SPT	rd	CSR
1	1.4	1.4	3	0.98936	0.683177
2	3	1.6	5	0.9772	0.472861
3	4.5	1.5	4	0.9658	0.485617
4	6.4	1.9	6	0.95136	0.473299
5	7.8	1.4	5	0.94072	0.477677
6	9.2	1.4	5	0.92836	0.473471
7	11.4	2.2	6	0.86962	0.439887
8	12.9	1.5	8	0.82957	0.40995
9	14.4	1.5	7	0.78952	0.396645
10	15.9	1.5	8	0.74947	0.372438
11	17.5	1.6	6	0.70675	0.361537
12	18.9	1.4	7	0.66937	0.338167
13	20.5	1.6	23	0.62665	0.261615
14	22	1.5	37	0.5866	0.214182
15	23.5	1.5	38	0.559062954	0.20453
16	24.5	1	60	0.546962492	0.167017
17	25.9	1.4	60	0.53252766	0.165132
18	27.4	1.5	60	0.519590879	0.163479
19	28.65	1.25	60	0.510331008	0.16231

➢ **Perhitungan CRR**

Dengan nilai MSF yang digunakan adalah hasil dari perhitungan sebelumnya, sehingga hasil untuk perhitungan CRR disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2 Hasil perhitungan CRR

Layer ke-	Depth (m)	Thickness (m)	N-SPT	(N1)60cs	CRRmw
1	1.4	1.4	3	4.295925774	0.079854158
2	3	1.6	5	6.35945088	0.098432391
3	4.5	1.5	4	5.357911482	0.089154476
4	6.4	1.9	6	8.15646216	0.115975747
5	7.8	1.4	5	6.420977016	0.099015433
6	9.2	1.4	5	6.062239342	0.095636016
7	11.4	2.2	6	6.997912771	0.104547607
8	12.9	1.5	8	8.729433639	0.121768986
9	14.4	1.5	7	7.299720491	0.107485624
10	15.9	1.5	8	7.887623528	0.113288695
11	17.5	1.6	6	5.709668096	0.092364504
12	18.9	1.4	7	6.342583846	0.098272797
13	20.5	1.6	23	17.67950045	0.22453295
14	22	1.5	37	24.71948328	0.341657593
15	23.5	1.5	38	24.119498	0.328581831
16	24.5	1	60	32.23926329	0.956732355
17	25.9	1.4	60	30.94223583	0.657963373
18	27.4	1.5	60	29.66358795	0.531684591
19	28.65	1.25	60	28.67608613	0.471972482

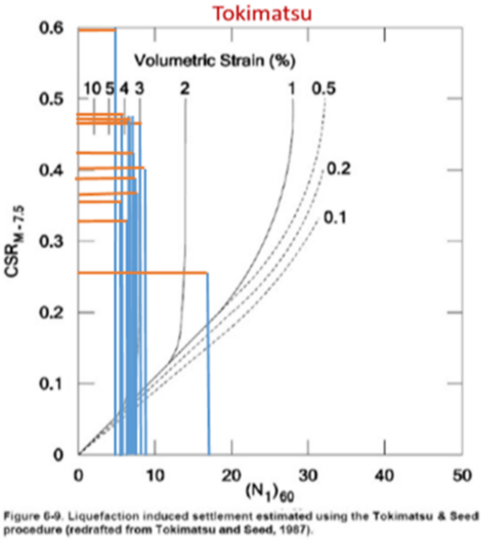
➢ **Perhitungan Faktor Keamanan (FS)**

Tabel 3 Hasil perhitungan nilai FS dan identifikasi potensi likuifaksi

Layer ke-	Depth (m)	Thickness (m)	N-SPT	FS	Likifaksi Potential
1	1.4	1.4	3	0.116887	Liquefaction
2	3	1.6	5	0.208163	Liquefaction
3	4.5	1.5	4	0.18359	Liquefaction
4	6.4	1.9	6	0.245037	Liquefaction
5	7.8	1.4	5	0.207285	Liquefaction
6	9.2	1.4	5	0.201989	Liquefaction
7	11.4	2.2	6	0.237669	Liquefaction
8	12.9	1.5	8	0.297034	Liquefaction
9	14.4	1.5	7	0.270987	Liquefaction
10	15.9	1.5	8	0.304181	Liquefaction
11	17.5	1.6	6	0.255477	Liquefaction
12	18.9	1.4	7	0.290604	Liquefaction
13	20.5	1.6	23	0.858257	Liquefaction
14	22	1.5	37	1.595174	Non-Liquefaction
15	23.5	1.5	38	1.606519	Non-Liquefaction
16	24.5	1	60	5.728366	Non-Liquefaction
17	25.9	1.4	60	3.984473	Non-Liquefaction
18	27.4	1.5	60	3.252318	Non-Liquefaction
19	28.65	1.25	60	2.907842	Non-Liquefaction

CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588

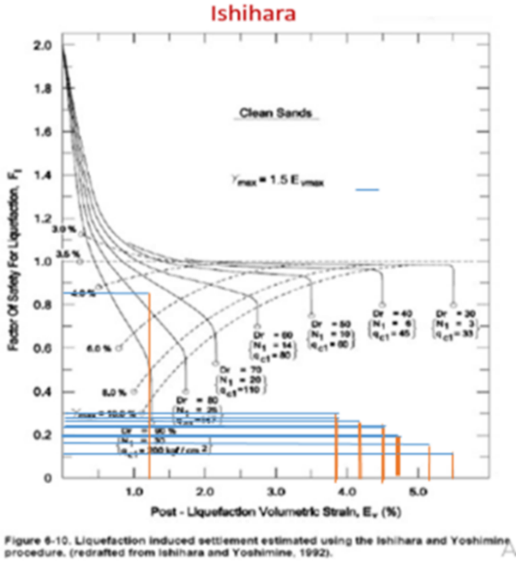
4.2 Analisis *Settlement* Akibat Likuifaksi



Gambar 8 Hasil analisis *settlement* metode Tokimatsu

Tabel 4 Tabel besar *settlement* dengan metode Tokimatsu

Thickness (m)	(N1)60	CSR	ε (%)	Δ H (m)	Δ H (cm)
1,4	4,295926	0,683177	4,6	0,0644	6,44
1,6	6,359451	0,472861	3,7	0,0592	5,92
1,5	5,357911	0,485617	4,2	0,063	6,3
1,9	8,156462	0,473299	3	0,057	5,7
1,4	6,420977	0,477677	3,5	0,049	4,9
1,4	6,062239	0,473471	3,6	0,0504	5,04
2,2	6,997913	0,439887	3,3	0,0726	7,26
1,5	8,729434	0,40995	2,9	0,0435	4,35
1,5	7,29972	0,396645	3,2	0,048	4,8
1,5	7,887624	0,372438	3,1	0,0465	4,65
1,6	5,709668	0,361537	4,1	0,0656	6,56
1,4	6,342584	0,338167	3,8	0,0532	5,32
1,6	17,6795	0,261615	1,5	0,024	2,4
			Σ	0,6964	69,64



Gambar 9 Hasil analisis *settlement* metode Ishihara

Tabel 5 Tabel besar *settlement* metode Ishihara

Thickness (m)	n1	FS	ε (%)	Δ H (m)	Δ H (cm)
1,4	3	0,116887	5,5	0,077	7,7
1,6	5	0,208163	4,7	0,0752	7,52
1,5	4	0,18359	5,2	0,078	7,8
1,9	6	0,245037	4,5	0,0855	8,55
1,4	5	0,207285	4,7	0,0658	6,58
1,4	5	0,201989	4,7	0,0658	6,58
2,2	6	0,237669	4,5	0,099	9,9
1,5	8	0,297034	3,8	0,057	5,7
1,5	7	0,270987	4,2	0,063	6,3
1,5	8	0,304181	3,8	0,057	5,7
1,6	6	0,255477	4,5	0,072	7,2
1,4	7	0,290604	4,2	0,0588	5,88
1,6	23	0,858257	1,2	0,0192	1,92
			Σ	0,8733	87,33

4.3 Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan *Stone Column*

- **Perhitungan Nilai FS'**

  Variasi yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 6 Variasi *stone column* yang digunakan

Parameter Stone Column	
Tipe Konfigurasi	Triangular
Diameter	0,5
Spasi	1
Kedalaman (m)	20,5

$$De = 1{,}05 * 1 = 1{,}05$$

$$A_S = \frac{1}{4} * 3{,}14 * \ 0{,}5^2 = 0{,}19625$$

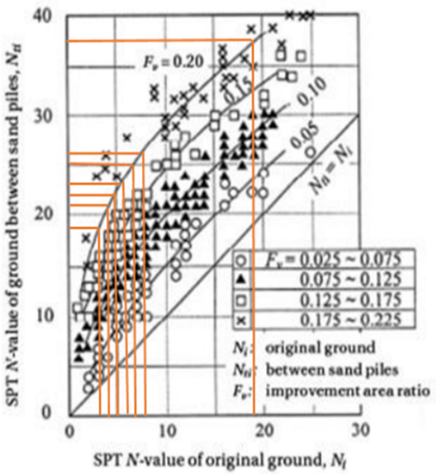
$$A = \frac{1}{4} * 3{,}14 * \ 1{,}05^2 = 0{,}865$$

Sehingga dapat diketahui untuk nilai a_s adalah sebagai berikut.

$$a_S = \frac{0{,}19625}{0{,}865} = 0{,}227$$

Dari nilai a_s inilah yang akan digunakan untuk analisis kenaikan N-SPT sebagai berikut.

CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588



Gambar 10 Grafik analisis kenaikan N-SPT

Tabel 7 Hasil perhitungan FS' dan identifikasi likuifaksi

Depth	N-SPT	CRRmw	CSR	FS'	Likuifaksi Potential
1.4	19	0.373119745	0.319092	1.169315	Non-Liquefaction
3	22	0.401780429	0.307118	1.308229	Non-Liquefaction
4.5	21	0.393875712	0.307282	1.281804	Non-Liquefaction
6.4	23	0.50361312	0.296957	1.695911	Non-Liquefaction
7.8	22	0.378128537	0.297177	1.272403	Non-Liquefaction
9.2	22	0.3367487	0.293394	1.147769	Non-Liquefaction
11.4	23	0.334043414	0.272135	1.227492	Non-Liquefaction
12.9	26	0.36027214	0.251752	1.431061	Non-Liquefaction
14.4	25	0.311629132	0.242625	1.284404	Non-Liquefaction
15.9	27	0.316165887	0.225849	1.399902	Non-Liquefaction
17.5	23	0.248752592	0.222617	1.117404	Non-Liquefaction
18.9	25	0.255770278	0.206342	1.239548	Non-Liquefaction
20.5	38	0.385787823	0.169956	2.269929	Non-Liquefaction

- **Perhitungan *Settlement* setelah pemasangan *Stone Column***

  Dalam perhitungan *settlement* setelah pemasangan *Stone Column* menggunakan data parameter tanah yang telah diketahui adalah sebagai berikut.

Tabel 8 Parameter data tanah

H	20,5
n	3
ϕ	45
c	9,1
Cc	0,63
eo	2,2
Nc	6,97
D	0,5
S	1
γsat	19,3138
γw	9,81
SF of Stone Column	2
as	0,22675

maka nilai dari *settlement* bisa diketahui menggunakan persamaan berikut.

$$S_t = H\left(\frac{Cc}{1+e_o}\right)\log\left(\frac{\sigma_o+\sigma_c}{\sigma_o}\right) \qquad \text{(pers.23)}$$

$$S_t = 20{,}5\left(\frac{0{,}63}{1+2{,}2}\right)\log\left(\frac{206{,}6+17{,}0502}{206{,}6}\right)$$

$$S_t = 0{,}13899\ m = 13{,}899\ cm$$

Dari perhitungan diatas maka *settlement* yang terjadi setelah pemasangan *stone column* adalah sebesar 13,899 cm. Berikut merupakan perbandingan *settlement* sebelum dan sesudah pemasangan *stone column*.

Tabel 9 Perbandingan *settlement* sebelum dan sesudah pemasangan *stone column*

Settlement				
Befor SC (cm)		After SC (cm)	Reduksi (%)	
Tokimatsu	Ishihara		Tokimatsu	Ishihara
69,64	87,33	13,90	80,04	84,08

4.4 Studi Paramentrik *Stone Column*

Tabel 10 Hasil perhitungan *settlement* dengan variasi tipe konfigurasi *Triangular*

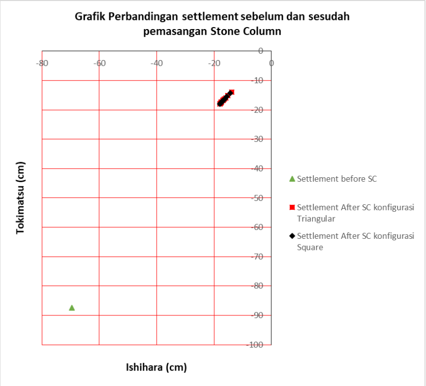
Tipe Konfigurasi	Diameter	Spasi	as	Settlement After SC (cm)
Triangular	0.3	1	0.082	16.34
		1.5	0.036	17.36
		2	0.020	17.76
		2.5	0.013	17.95
	0.4	1	0.145	15.14
		1.5	0.064	16.71
		2	0.036	17.36
		2.5	0.023	17.69
	0.5	1	0.227	13.90
		1.5	0.101	15.95
		2	0.057	16.88
		2.5	0.036	17.36

Tabel 11 Hasil perhitungan *settlement* dengan variasi tipe konfigurasi *Square*

Square	0.3	1	0.070	16.58
		1.5	0.031	17.49
		2	0.018	17.83
		2.5	0.011	18.00
	0.4	1	0.125	15.49
		1.5	0.056	16.91
		2	0.031	17.49
		2.5	0.020	17.77
	0.5	1	0.196	14.34
		1.5	0.087	16.23
		2	0.049	17.06
		2.5	0.031	17.49

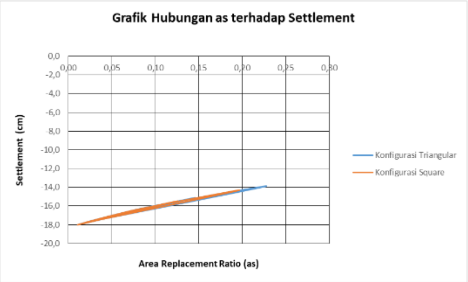
Berikut merupakan grafik perbandingan *settlement* sebelum dan sesudah pemasangan *stone column*.

CRANE : Civil Engineering Research Journal
Volume 3 Nomor 2 Edisi Oktober 2022
E-ISSN: 2775-4588



Gambar 11 Grafik *settlement* sebelum dan sesudah pemasangan *stone column*

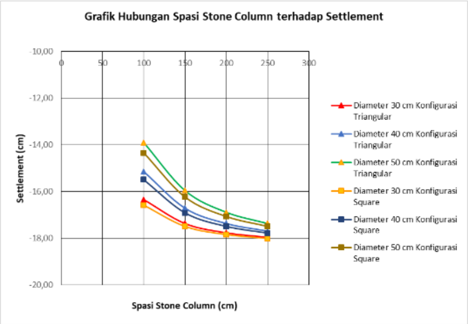
Dari hasil analisis menggunakan *stone column*, untuk besar *settlement* yang terjadi pada tanah akan semakin kecil dengan bertambahnya nilai *area replacement ratio* (a_s). Hal ini dapat dilihat dari grafik sebagai berikut.



Gambar 12 Grafik hubungan *area replacement ratio* (as) terhadap *settlement*

- **Hubungan Spasi *Stone Column* terhadap *Settlement***

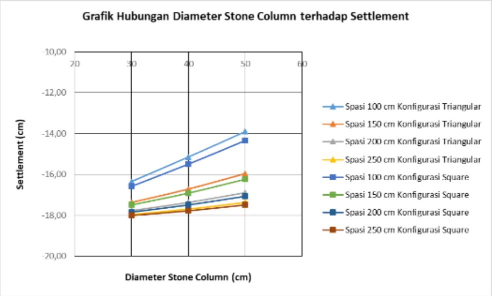
  Dari hasil analisis, dengan menggunakan berberapa tipe konfigurasi dan diameter, penerapan spasi *stone column* yang semakin besar akan memperkecil reduksi *settlement* yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari grafik sebagai berikut dimana kurva mengalami penurunan.



Gambar 13 Grafik hubungan spasi terhadap *settlement*

- **Hubungan Diameter *Stone Column* terhadap *Settlement***

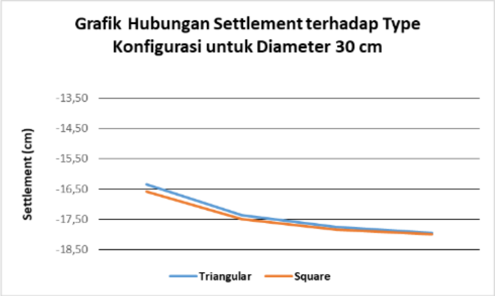
  Dari hasil analisis, dengan menggunakan berberapa tipe konfigurasi dan spasi, penerapan diameter *stone column* yang semakin besar akan mengasikan reduksi *settlement* yang besar pula. Hal ini dapat dilihat dari grafik sebagai berikut dimana kurva mengalami peningkatan atau kenaikan.



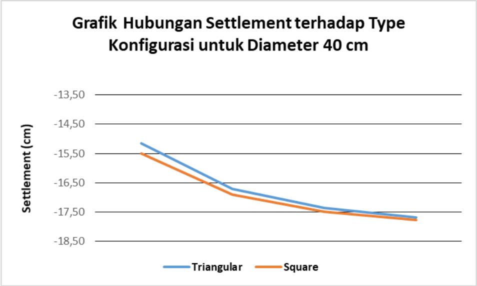
Gambar 14 Grafik hubungan diameter terhadap *settlement*

- **Hubungan Tipe Konfigurasi terhadap *Settlement***

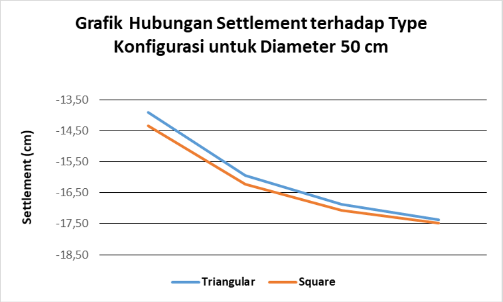
  Walaupun mendapatkan hasil perbedaan nilai yang tidak begitu signifikan, penerapan tipe konfigurasi *stone column* yang berbeda akan menghasilkan besar *settlement* yang berbeda pula. Dimana dari hasil analisis, tipe konfigurasi *Triangular* menghasilkan reduksi *settlement* yang besar dibandingkan tipe konfigurasi *Square*. Hal ini dapat dilihat dari garfik sebagai berikut.



Gambar 15 Grafik hubungan *settlement* terhadap tipe konfigurasi untuk diameter 30 cm



Gambar 16 Grafik hubungan *settlement* terhadap tipe konfigurasi untuk diameter 40 cm



Gambar 17 Grafik hubungan *settlement* terhadap tipe konfigurasi untuk diameter 50 cm

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

1. Dengan nilai N-SPT yang cukup rendah maka akan menghasilkan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR) yang cukup kecil sehingga nilai FS yang didapat cenderung kurang dari satu (FS>1) dan terindikasi berpotensi likuifaksi. Seperti pada layer ke-1 sampai dengan layer ke-13.
2. Hasil analisis *settlement* yang terjadi akibat likuifaksi dengan metode Ishihara lebih besar dibanding menggunakan metode Tokimatsu. Yaitu sebesar 87.33 cm untuk metode Ishihara, dan 69.64 cm menggunakan metode Tokimatsu.
3. Dengan menggunakan variasi *stone column* diameter 0.5m, spasi 1m, dan konfigurasi pemasangannya *Triangular* sebagai langkah dalam perbaikan tanah, variasi ini cukup baik untuk meningkatkan nilai N-SPT ditanah sekitar, sehingga nilai FS yang didapat adalah lebih dari satu yang berarti cukup aman untuk potensi likuifaksi.
4. Dari perhitungan analisis *settlement* akibat pemasangan *stone column* dengan variasi diameter 0.5m, spasi 1m, dan konfigurasi pemasangannya *Triangular* didapatkan hasil sebesar 13.9 cm. Sehingga reduksi *settlement* yang dihasilkan adalah sekitar 80.04% hingga 84.08% dari hasil *settlement* sebelum pemasangan *stone column*.
5. Dari hasil analisis studi prametrik, *area replacement ratio* (a_s) atau rasio pergantian luas tanah akibat penggunaan *stone column* akan menentukan besarnya perbaikan yang diperoleh. Salah satu parameter tanah yang berubah akibat dari nilai a_s adalah N-SPT. Semakin besar nilai a_s maka peningkatan N-SPT yang terjadi juga semakin besar. Sehingga nilai FS yang didapatkan juga akan semakin besar.
6. Dari hasil analisis memperlihatkan bahwa semakin besar nilai a_s, maka reduksi *settlement* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Dengan parameter yang mempengahi nilai a_s sendiri adalah spasi dan diameter *stone column* yang didesain.
7. Dari hasil analisis, studi parametrik hubungan spasi terhadap *settlement* serta hubungan diameter terhadap *settlement* menghasilkan besar reduksi *settlement* sekitar 74.15% hingga 84.08%.
8. Dari hasil analisis, penggunaan tipe konfigurasi *Triangular* menghasilkan hasil yang lebih efektif dibanding dengan menggunakan tipe konfigurasi *Square* yaitu besar reduksi *settlement* yang dihasilkan tipe konfigurasi *Triangular* sekitar 74.3% hingga 84.08% dan untuk tipe konfigurasi *Square* adalah sekitar 74.15% hingga 83.58%.
9. Dari beberapa hasil analisis, desain *stone column* yang menghasilkan kurva rentan a_s sebesar 0.025~0.075 dirasa kurang efektif dalam meningkatkan nilai FS dalam kasus ini, sehingga desain *stone column* yang paling efektif dan efisien adalah variasi diameter 0.3m, spasi 1m, dan tipe konfigurasi *Triangular* dimana variasi ini menghasilkan a_s sebesar 0.082 serta reduksi *settlement* sekitar 76.34% hingga 81.29%.

5.2 Saran

1. Sebaiknya penelitian ini juga menganalisis menggunakan Software seperti PLAXIS 2D sebagai bahan pembanding perhitungan yang diperoleh.
2. Penelitian selanjutnya perlu menganalisis menggunakan metode *Cone Penetration Test* (CPT) dalam analisis likuifaksi, sehingga dapat dibandingan hasil menggunakan metode SPT dan CPT.

3. Penelitian selanjutnya perlu menganalisis metode perbaikan tanah (*soil improvement*) lainnya untuk kasus likuifaksi.
4. Penelitian selanjutnya perlu memperhatikan data tanah yang akan digunakan secara lengkap sebagai bahan analisis.
5. Perlu dilakukan analisis perbandingan kuat geser tanah *post-liquefaction* (setelah terjadi likuifaksi) dan setelah perbaikan dengan *stone column*.

Daftar Pustaka

[1] Djitno, Hendra. (2019). "Module Liquefaction Analysis". Handout Kuliah. ITENAS Bandung, Indonesia.
[2] Djitno, H., & Meiwa, S. (2020). "Soil Dynamic and Machine Foundation : Likuifaction Analysis". Handout Kuliah. Bandung, Indonesia.
[3] FWHA. (1983). "Design and Construction of Sone Column Vol. I". *Publication no. FHWA/RD-83/026.*
[4] Idriss, I. M., & Boulanger, W. (2008). "Soil Liquefaction During Earthquakes". Earthquake Engineering Research Institute.
[5] Ishihara, K., & Yoshimine, M. (1992). "Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquake". *Soils and Fondations, 32(1)*, 173-188.
[6] Kitazume, Masaki. (2004). *The Sand Compaction Pile*. London : A. A. Balkema Publishers.
[7] Seed,H.B., & Idriss,I.M. (1971). "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of Geotechnical and Foundation Engineering, ASCE, 97(9)*, 1249-1273.
[8] Tokimatsu, K., & Seed, H. B. (1987). "Evaluation of Settlements in Sand due to Earthquake Shaking". *Journal of Geotechnical Engineering, 113(8),* 861-878.
[9] Youd, T. L. (2001). "Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 127(4)*, 817-833.
[10] Youd, T., & Noble, S. (1997). "In: Proc. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". Salt Lake City, 149-165.