

Studi Parametrik Pengaruh *Stone Column* Terhadap Daya Dukung Tanah Lunak

* Bella Stella Nisa'ul Kamila¹, Isnaniati¹, Himatul Farichah²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

^{*)}email : bellastellank@gmail.com

Abstract

Soft soil has a small soil shear strength, large compressibility, and also a small coefficient of permeability. So that soft soil can be used as the basis of a construction, soil improvement measures are needed. One method of soil improvement is the stone column. So in this research, a parametric study of the effect of stone column on the bearing capacity of soft soil was carried out. Parameters that were varied were diameter, distance of stone column and shear angle of stone column and configuration pattern. Variations in diameter used 1 m, 1.2 m, 1.5 m and distance variations used 1.5 m, 1.9 m, 2.1 m, shear angle used 35°, 40° and variations in configuration pattern used squares and triangles with the total depth repaired is 14 m. The stone column method itself is an improvement method by replacing part of the construction subgrade with a compacted stone column, by inserting a vibratory probe such as a vibrating head that is inserted into the soil to form column holes and compact the rock material. In this study, the Plaxis 2D program and conventional calculations were used. The results show that the larger the diameter and the shear angle, the greater the bearing capacity, and the greater the distance of the stone column, the smaller the bearing capacity, and the use of a triangular pattern produces a greater bearing capacity than the square pattern. While the results of the calculation of the carrying capacity before the repair is 1.45 kN and after the repair is 12.41 kN.

Keywords: Soft soil, Stone Column, bearing capacity

Abstrak

Tanah lunak mempunyai kuat geser tanah yang kecil, kompresibilitas yang besar, dan juga koefisien permeabilitas yang kecil. Supaya tanah lunak dapat digunakan sebagai dasar dari suatu konstruksi, maka diperlukan tindakan perbaikan tanah. Salah satu metode perbaikan tanah adalah stone column. Maka pada penelitian ini dilakukan studi parametrik pengaruh stone column terhadap daya dukung tanah lunak. Parameter yang divariasikan adalah diameter, jarak stone column dan sudut geser stone column serta pola konfigurasi. Variasi diameter digunakan 1 m, 1,2 m, 1,5 m dan variasi jarak digunakan 1,5 m, 1,9 m, 2,1 m, sudut geser digunakan 35°, 40° serta variasi pola konfigurasi digunakan bujur sangkar dan segitiga dengan total kedalaman yang diperbaiki adalah 14 m. Metode stone column sendiri merupakan metode perbaikan dengan mengganti sebagian tanah dasar konstruksi dengan kolom batu yang dipadatkan, dengan cara memasukkan *vibratory probe* semacam kepala penggetar yang dimasukkan ke dalam tanah untuk membentuk lubang kolom dan memadatkan material batuan. Pada penelitian ini digunakan program Plaxis 2D dan juga perhitungan secara konvensional. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan sudut geser maka akan semakin besar pula daya dukung, dan semakin besar jarak stone column maka semakin kecil daya dukung, serta penggunaan pola segitiga menghasilkan daya dukung yang lebih besar dibandingkan pola bujur sangkar. Sedangkan hasil perhitungan daya dukung sebelum perbaikan sebesar 1,45 kN dan setelah perbaikan 12,41 kN.

Kata Kunci: Tanah lunak, Stone column, Daya dukung

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan dalam perencanaan terkait geoteknik di Indonesia adalah keberadaan tanah lunak. Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah, gaya gesekan kecil, serta kemampatannya besar (Toha, 1989). Tanah dapat digolongkan sebagai tanah lunak apabila nilai N-SPT nya < 15 (SNI 1726:2019).

Di Indonesia, tanah lunak sangat sering dijumpai, salah satunya terdapat di Kota Bekasi. Kota Bekasi memiliki kondisi topografi yang relatif datar dengan kemiringan antara 0-2%, struktur lahannya mayoritas terdiri dari daerah datar yang berawa (Pemerintah Kota Bekasi, 2017). Metode *stone column* merupakan metode perkuatan tanah yang menggunakan kolom-kolom vertikal dari material batu pecah (*crushed stone*) yang dipadatkan, batuan tersebut umumnya batuan lepas dan tidak diikat oleh bahan pengikat semen atau lainnya dengan diameter dan

juga kedalaman tertentu di dalam lapisan tanah (Rangga, 2016).

Metode pelaksanaannya yakni dengan metode *vibro-replacement*, yaitu dengan cara memasukkan alat *compaction probe* kedalam lapisan tanah lunak lalu diisi dengan batu pecah dan digetarkan sampai memadat. Sehingga terbentuklah kolom didalam lapisan tanah. Panjang *stone column* yang digunakan biasanya kurang lebih 15-25 meter (Indra, 2009).

Dengan bantuan *stone column* distribusi tegangan akibat beban dapat tersalur melalui dua komponen, yakni kolom tersebut dan lapisan tanah di sekitar kolom. Artinya tegangan geser yang disalurkan semakin besar untuk mengurangi penurunan dan sifat permeabilitas tanah (Adhe, 2021).

Pada skripsi ini akan dilakukan studi parameter perbaikan tanah lunak dengan metode *stone column* di kota Bekasi Jawa Barat. Metode *stone column* dipilih karena sangat efektif pada lokasi proyek yang mayoritas terdiri dari daerah yang berawa yang merupakan tanah lunak. Tanah lunak tersebut terdiri dari tanah lempung (clay) dan tanah lanau (silt) dengan nilai MAT -2.0. Ketika merencanakan

stone column ada beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatannya, diantaranya yaitu diameter stone column, sudut geser stone column, jarak antar stone column, pola konfigurasi stone column

METODE

Untuk mencapai maksud dan tujuan studi ini, dilakukan beberapa tahapan yang dianggap perlu dan secara garis besar diuraikan sebagai berikut:

1. Tahapan pertama adalah mengidentifikasi masalah
2. terkait perbandingan daya dukung sebelum dan setelah perbaikan dengan metode stone column serta pengaruh parameter-parameter stone column terhadap daya dukung
3. Tahapan kedua adalah pengumpulan data Pengumpulan data sekunder, dimana data-data sekunder diperoleh dari pihak berwenang di proyek (X) di Bekasi Jawa Barat. Sedangkan untuk data stone column diperoleh dari buku dan referensi lainnya.
4. Tahapan ketiga adalah perhitungan Q secara manual sebelum perbaikan dengan metode stone column, selain dengan program plaxis 2D perhitungan juga dilakukan secara manual dengan menggunakan rumus daya dukung local shear failure.
5. Tahapan keempat adalah pemodelan stone column untuk mengetahui daya dukung sebelum dan setelah perbaikan dengan program Plaxis 2D. Pemodelan yang dilakukan terdiri dalam dua kondisi yakni kondisi pertama dengan adanya stone column dan kondisi kedua tanpa stone column.
6. Tahapan keenam adalah menyimpulkan hasil dari analisis yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengumpulan Data

Data tanah yang digunakan disini adalah data tanah sekunder yang diperoleh dari pihak proyek (x) yang berada di Bekasi, Jawa Barat. Data tersebut digunakan untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah yang hendak diperbaiki. Terdapat data parameter tanah guna di input pada program Plaxis 2D setiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter tanah

Lapi- san	Jenis tanah	Γ _{sat} kN/m ³	Γ _{unsat} kN/m ³	μ	E kN/m ²	C kN/m ²	φ
1	Clayey silt	16,5	11,06	0,35	6000	0,25	8,5
2	Clayey silt	16,5	11,06	0,35	2000	0,25	8,5
3	Silty clay	17,85	11,53	0,35	2000	5	8,5
4	Silty clay	15,39	8,88	0,35	9000	0,25	6,3
5	Silty clay	15,39	8,17	0,35	15000	0,19	6,3
6	Clayey silt	15,75	9,45	0,35	13000	0	0
7	Silty sand	15,75	9,45	0,35	2000	0	0

Sumber : Hasil penyelidikan (2022)

Terdapat juga data parameter stone column guna di input pada program Plaxis 2D dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Parameter Stone column

Γ _{sat}	Γ _{unsat}	μ	E	C	φ
kN/m ³	kN/m ³		kN/m ²	kN/m ²	°
21	20	0,2	45000	5	42

Sumber : Hasil penyelidikan (2022)

Pengolahan Data

A. Pemeriksaan Daya Dukung Tanah :

$$Q_{ult} = c \times N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} (1 - 0,4 \frac{B}{L}) \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

Dimana:

Q_{ult} : Daya dukung ijin, kN/m²

c : Kohesi, kN/m²

q : Overburden pressure, kN/m²

γ : Berat isi tanah, kN/m³

B : Lebar pondasi m

N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung Terzaghi

B. Pemodelan Plaxis 2D

Untuk memulai perhitungan Plaxis 2D terlebih dahulu menentukan lebar pondasi. Untuk perhitungan daya dukung akibat pembebanan dengan bantuan program Plaxis 2D secara berurutan sebagai berikut :

1. Pembuatan model geometri dari lapisan tanah dan timbunan dengan bantuan (geometri line).
2. Input data material tanah dan stone column pada (material sets).
3. Penyusunan jaring elemen (mesh generation)
4. Perhitungan kondisi awal, dalam hal ini meliputi tekanan air pori awal (generate water pressure) dan tegangan awal (generate initial stresses)
5. Perhitungan (calculate)
6. Output

Analisa dan Perhitungan

A. Perhitungan daya dukung tanah tanpa stone column

Analisis kapasitas dukung tanah bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam mendukung beban yang bekerja di atasnya. Perhitungan daya dukung tanah pada penelitian ini menggunakan rumus local shear failure. Perhitungan daya dukung dikelompokkan menjadi 2 lapisan sesuai dengan jenis konsistensi tanah lapisan tersebut, lapisan pertama kedalaman 0-2m dengan konsistensi soft dan lapisan kedua kedalaman 2-14m dengan konsistensi very soft. Pembebanan dilakukan dengan cara memberi pondasi diatas lapisan tanah dengan dimensi lebar pondasi diasumsikan sebesar 5m.

$$\phi = 8,5^\circ$$

$$N_q = 1,4$$

$$N_\gamma = 0,2$$

$$C_{u1} = 0,25 \text{ kg/cm}^2 = 24,51 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{u2} = 0,25 \text{ kg/cm}^2 = 24,51 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 1,683 \text{ t/m}^3 \times 0 \text{ m} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,683 \text{ t/m}^3 = 16,83 \text{ kN/m}^3$$

$$B = 5 \text{ m}$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ m}$$

$$b = \frac{B}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ m}$$

Untuk mengetahui nilai N_c , harus menghitung Cu_2/Cu_1 terlebih dahulu karena N_c adalah fungsi dari Cu_2/Cu_1

$$\frac{Cu_2}{Cu_1} = \frac{24,51}{24,51} = 1 \text{ kN/m}^2$$

dan

$$\frac{d}{b} = \frac{2}{2,5} = 0,8$$

Maka
 $N_c = 5,7$

$$Q_{ult} = c \times N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} (1 - 0,4 \frac{B}{L}) \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$= 24,51 \times 5,7 + 0 \times 1,4 + \frac{1}{2} (1 - 0,4 \frac{5}{7}) \times 16,83 \times 5 \times 0,2$$

$$= 139,7 \text{ kN/m}^2 + 0 \text{ kN/m}^2 + 6,01 \text{ kN/m}^2$$

$$= 145,71 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1,45 \text{ kN}$$

B. Perhitungan dengan Plaxis 2D

Perhitungan dilakukan menggunakan program Plaxis 8.6 2D dan ditujukan untuk mencari daya dukung. Perhitungan dilakukan dalam dua kondisi yakni tanpa *stone column* serta dengan *stone column*. Jenis material yang digunakan pada analisis ini diantaranya adalah *Mohr-Coulomb* dan beberapa parameter yang akan di *input* pada program ini adalah berat isi jenuh dan tak jenuh (γ_{sat} dan γ_{dry}), modulus Young (E), permeabilitas (k_s dan k_y), angka poisson (μ), kohesi (c), sudut geser *stone column* (ϕ), dan juga sudut dilatasi (ψ).

Dikarenakan *Plaxis 8.6* merupakan perangkat lunak dua dimensi maka didalam mendesain *stone column* diperlukan konversi dari bentuk tiga dimensi ke dua dimensi yakni dari bentuk dari *axisymmetric* ke *plane strain* dengan variasi pola bujur sangkar dan segitiga, dan dua variasi sudut geser *stone column* yakni 35° dan 40° . Konversi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$bc = B \frac{rc^2}{R^2}$$

$$bc = B \frac{rc^2}{(1,13 \times S)^2}$$

$$bc = 1,5 \frac{0,5^2}{1,695^2}$$

$$bc = 0,13 \text{ m}$$

maka didapatkan *Stone Column* dengan variasi sebagai berikut:

Diameter tiang = 1 meter dikonversi menjadi 0,13 m

Jarak antar tiang = 1,5 meter

Panjang tiang = 14 meter

Jumlah tiang yang dimodelkan = 21 buah tiang

Berikut perhitungan lengkap Konversi diameter *axisymmetric* ke *planestrain* pola bujur sangkar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konversi diameter *axisymmetric* ke *planestrain* pola bujur sangkar

No.	B/S (m)	D (m)	Rc (m)	R (1,13.S) (m)	bc (m)
1	1,5	1	0,5	1,695	0,13

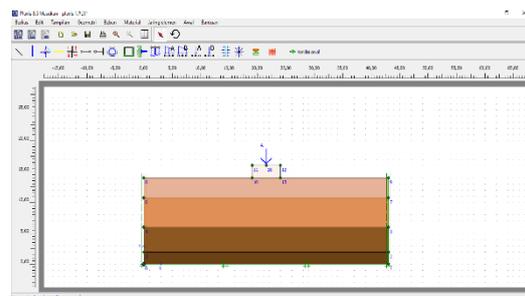
2	1,5	1,2	0,6	1,695	0,19
3	1,5	1,5	0,75	1,695	0,29
4	1,9	1	0,5	2,147	0,10
5	1,9	1,2	0,6	2,147	0,15
6	1,9	1,5	0,75	2,147	0,23
7	2,1	1	0,5	2,373	0,09
8	2,1	1,2	0,6	2,373	0,13
9	2,1	1,5	0,75	2,373	0,21

Dan berikut hasil perhitungan konversi diameter *axisymmetric* ke *planestrain* pola segitiga yang cenderung lebih besar dibanding pola bujur sangkar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Konversi diameter *axisymmetric* ke *planestrain* pola segitiga

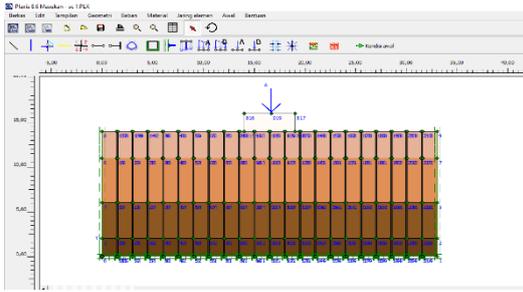
No.	B/S (m)	D (m)	Rc (m)	R (1,05.S)	Bc (m)
1	1,5	1	0,5	1,575	0,15
2	1,5	1,2	0,6	1,575	0,22
3	1,5	1,5	0,75	1,575	0,34
4	1,9	1	0,5	1,995	0,12
5	1,9	1,2	0,6	1,995	0,17
6	1,9	1,5	0,75	1,995	0,27
7	2,1	1	0,5	2,205	0,11
8	2,1	1,2	0,6	2,205	0,16
9	2,1	1,5	0,75	2,205	0,24

Sedangkan untuk pembebanan dilakukan dengan memberi pondasi diatas lapisan tanah seperti pada Gambar 1 serta diatas pondasi diberi beban vertikal. Lebar pondasi pada *plaxis* tentunya disamakan dengan perhitungan manual yakni 5 meter. Berikut adalah pemodelan geometri dengan Plaxis 2D tanpa *stone column* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model geometri tanpa *stone column*

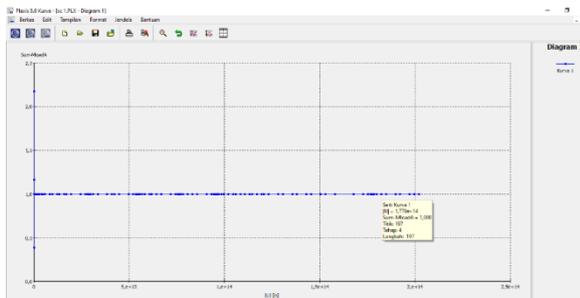
Dan juga ditunjukkan oleh Gambar 2 pemodelan geometri dengan tiang *stone column* pada Plaxis 2D dimana sama dengan sebelumnya pondasi diletakkan diatas lapisan tanah.



Gambar 2. Model geometri dengan *stone column*

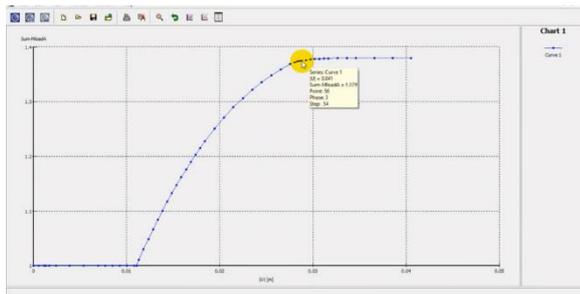
C. Hasil output Plaxis 2D

Untuk daya dukung tanpa *stone column* dengan pembebanan vertikal diatas pondasi berlebar 5m didapatkan dari hasil output grafik Mload-A, sebesar 1 kN seperti pada Gambar 3 lalu dikalikan dengan beban q yang sudah di inputkan yakni sebesar 9 kN. Maka beban yang dapat ditanggung oleh lapisan tanah tersebut adalah sebesar 9 kN.



Gambar 3. Grafik M-load A hasil perhitungan pada Plaxis tanpa *stone column*

Sedangkan untuk daya dukung dengan adanya *stone column* didapatkan Mload-A sebesar 1,379 kN seperti pada Gambar 4 lalu dikalikan dengan beban q yang sudah di inputkan yakni sebesar 9 kN. Maka beban yang dapat ditanggung oleh lapisan tanah tersebut adalah sebesar 12,41 kN.



Gambar 4. Grafik M-load A hasil perhitungan pada Plaxis dengan *stone column*

Perbandingan Sebelum dan Setelah Perbaikan dengan *Stone Column*

Dari perhitungan penurunan analitis akibat pembebanan awal telah diketahui tinggi timbunan sebesar 5 m dihasilkan total daya dukung sebesar 1,45 kN. Sedangkan dari perhitungan akibat pembebanan awal pada program Plaxis 8.6 2D telah diketahui total daya dukung 9 kN.

Dari perhitungan setelah perbaikan dengan *stone column* akibat pembebanan pada program Plaxis 8.6 2D dengan variasi diameter 1 m, jarak 1,5 m dan sudut geser 40° serta pola bujur sangkar didapatkan hasil daya dukung yang lebih besar 12,41 kN. Sedangkan pada sudut geser 35° didapatkan hasil daya dukung 79,7kN. Selengkapnya dapat dilihat Pada Tabel 5 berikut.

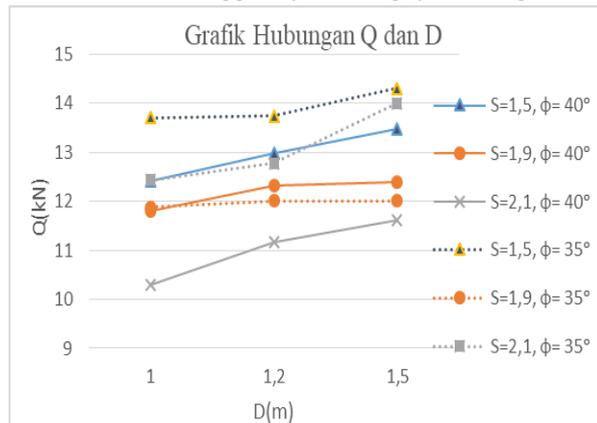
Tabel 5. Perbandingan sebelum dan setelah perbaikan

		Q	Selisih Q	
		(kN)	pada plaxis	
Sebelum perbaikan dengan <i>stone column</i>	Analitis	1,45	sebelum dan sesudah perbaikan (%)	
		Plaxis	9	
Pola Bujur sangkar	Φ = 40°	S=1,5 D=1	12,41	27,5
		S=1,5 D=1,2	12,98	30,7
		S=1,5 D=1,5	13,47	33,2
		S=1,9 D=1	11,81	23,8
		S=1,9 D=1,2	12,33	27
		S=1,9 D=1,5	12,38	27,3
	Φ = 35°	S=2,1 D=1	10,3	12,6
		S=2,1 D=1,2	11,16	19,4
		S=2,1 D=1,5	11,61	22,5
		S=1,5 D=1	13,71	34,3
		S=1,5 D=1,2	13,74	34,5
		S=1,5 D=1,5	14,31	37,1
Segitiga	Φ = 40°	S=1,9 D=1	11,88	24,2
		S=1,9 D=1,2	12,01	25
		S=1,9 D=1,5	12,01	25
		S=2,1 D=1	12,43	27,6
		S=2,1 D=1,2	12,78	29,6
		S=2,1 D=1,5	14	35,7
	Φ = 35°	S=1,5 D=1	13,21	31,9
		S=1,5 D=1,2	13,21	31,9
		S=1,5 D=1,5	16,22	44,5
		S=1,9 D=1	12,16	26
		S=1,9 D=1,2	14,32	37,2
		S=1,9 D=1,5	14,33	37,2
Plaxis	Sesudah perbaikan dengan <i>stone column</i>	S=2,1 D=1	14,63	38,5
		S=2,1 D=1,2	15,1	40,4
		S=2,1 D=1,5	15,22	40,9
		S=1,5 D=1	15,22	40,8
		S=1,5 D=1,2	15,17	40,7
		S=1,5 D=1,5	15,87	43,3
Plaxis	Sesudah perbaikan dengan <i>stone column</i>	S=1,9 D=1	14,29	37
		S=1,9 D=1,2	15,29	41,1

S=1,9	D=1,5	15,88	43,3
S=2,1	D=1	14,38	37,4
S=2,1	D=1,2	15,78	43
S=2,1	D=1,5	15,91	43,4

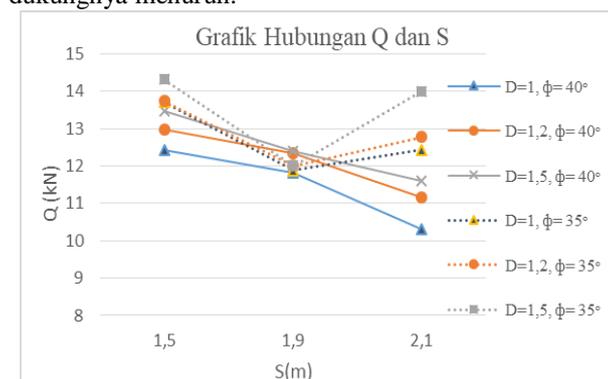
Sumber : Hasil Analisis (2021)

Berikut adalah grafik-grafik hubungan antara parameter variasi *stone column* dengan daya dukung: Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar diameter maka semakin besar pula nilai daya dukungnya. Hal ini dikarenakan pada saat nilai diameter semakin besar, tegangan yang diterima tanah di sekitar *stone column* semakin kecil sehingga daya dukungnya meningkat.



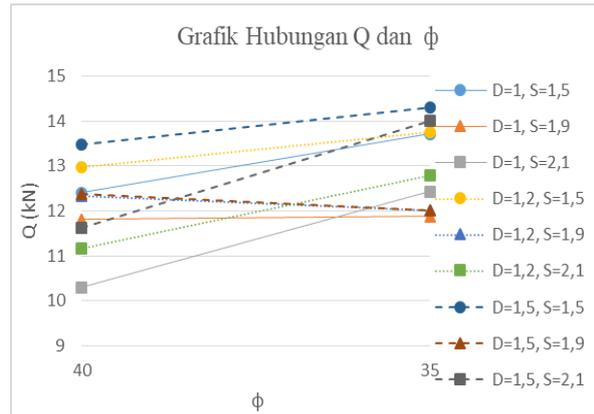
Gambar 4. Grafik pengaruh Diameter terhadap Daya dukung

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa secara umum nilai spasi berbanding terbalik dengan daya dukung. Dimana semakin besar nilai spasi, akan semakin kecil nilai daya dukungnya. Hal ini dikarenakan pada saat nilai spasi semakin besar tegangan yang diterima oleh tanah di sekitar *stone column* akan semakin besar pula sehingga daya dukungnya menurun.



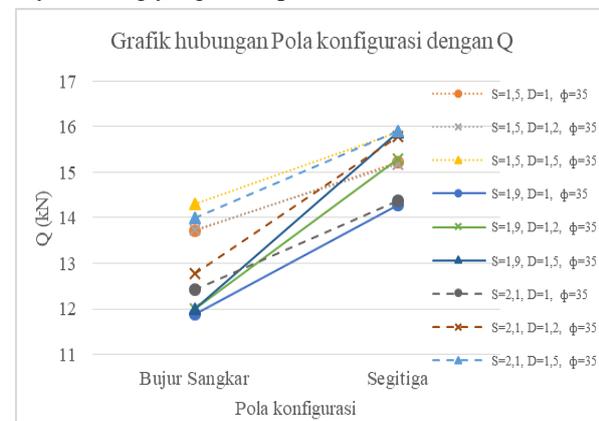
Gambar 5. Grafik pengaruh spasi terhadap Daya dukung

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa sudut geser apabila nilainya semakin besar, maka semakin besar pula nilai daya dukungnya. Semakin besar kekuatan geser berarti bahwa semakin besar gaya perlawanan *stone column* terhadap tarikan di sekitarnya, oleh karena itu terjadi peningkatan daya dukung.



Gambar 6. Grafik pengaruh Sudut geser *stone column* terhadap Daya dukung

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai daya dukung yang terjadi pada pola konfigurasi bujur sangkar sebelum perbaikan sebesar 9 kN dan setelah perbaikan sebesar 14,31 kN yakni dengan selisih 37,1%. Dan juga nilai daya dukung yang terjadi pada pola konfigurasi segitiga sebelum perbaikan sebesar 9 kN dan setelah perbaikan sebesar 15,87 kN yakni dengan selisih 43,3%. Menunjukkan bahwa dengan menggunakan variasi pola konfigurasi segitiga menghasilkan nilai daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan pola konfigurasi bujur sangkar. Hal ini disebabkan oleh saat pemasangan pada pola segitiga jarak antar tiang lebih rapat sehingga jumlah tiang *stone column* yang dihasilkan lebih banyak maka kekuatan yang dihasilkan pun semakin besar hingga menghasilkan daya dukung yang besar pula.



Gambar 7. Grafik pengaruh Pola konfigurasi terhadap Daya dukung

Sumber: Hasil Analisis (2021)

KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan pada skripsi ini, dapat diambil kesimpulannya sebagai berikut:

1. Kondisi tanah sebelum perbaikan dengan *stone column* dihasilkan daya dukung sebesar 1,45 kN. Sedangkan dari perhitungan akibat pembebanan awal pada program Plaxis 8.6 2D telah diketahui daya

- dukung 9 kN, menunjukkan dengan adanya stone column daya dukung tanah semakin meningkat.
2. Semakin besar diameter yang digunakan maka semakin besar pula daya dukung.
 3. Semakin besar sudut geser stone column yang digunakan maka semakin besar pula daya dukung.
 4. Semakin besar jarak stone column yang digunakan maka semakin kecil daya dukung.
 5. Pola segitiga menghasilkan daya dukung yang lebih besar dibanding pola bujur sangkar.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi dari hasil perhitungan analitis maupun program Plaxis 8.6 2D perlu dilakukan perbandingan dengan hasil yang ada di lapangan.
- b. Hendaknya memperoleh data-data yang lengkap sebelum melakukan perhitungan, karena data tersebut sangat menunjang proses perhitungan.

Parameter tanah yang digunakan sebagai data masukan sangat berpengaruh terhadap analisis, oleh karena itu dalam penentuan harga parameter tersebut harus dilakukan secermat mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, dkk., 2016. *Pengaruh Floating Stone Column Dalam Perbaikan Tanah Pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Volume 2 Nomor 2. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Bahri, Syarifudin., 2017. *Studi Perencanaan Tanah dengan Stone Column pada Stock Pile Batubara Rencana PLTU Sorong (4x7 MW)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya Malang.
- Basack, S., Indraratna, B., & Rujikiatkamjorn, C. 2015. *Theoretical and Numerical Perspectives on Performance of Stone-Column-Improved Soft Ground with Reference to Transport Infrastructure*. In Ground Improvement Case Histories. Elsevier Ltd
- Bowles, Joseph E. Alih Bahasa Oleh Silaban, Pantur. 1988. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1* (Edisi 4). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Christady, Hary., 2002, *MEKANIKA TANAH I*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Das, Braja, M., 1994. *Mekanika Tanah II (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Jakarta: Airlangga.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Dermawan, Adhe., 2021. *Pengenalan Stone Column*. Jakarta: Rancah.com
- Farichah, Himatul., 2021. *Metode Konstruksi Dan Perilaku Stone Column Sebagai Perkuatan Tanah Dasar Timbunan*. Jurnal Agregat Vol. 6, No. 1, Mei 2021.
- Fitriani, Fauziah., Hamdhan., Noer, Indra., 2016. *Pemodelan Numerik Pada Perbaikan Tanah Menggunakan Stone Column Di Tanah Lempung*

- Lunak Di Bawah Tanah Timbunan*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Hepma, Immanuel., 2016. *Studi Parameter Kolom Batu Untuk Perbaikan Daya Dukung Dan Permukiman Di Tanah Lempung*. ITB, Bandung.
- Indraratna, B., and Redana, I. W. 1997 "Plane-strain modeling of smear effects associated with vertical drains." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 123_5_, 474-478.
- Iskandar dkk., 2016. *Pemodelan Numerik pada Perbaikan Tanah Menggunakan Stone Column Di Tanah Lempung Lunak Di Bawah Tanah Timbunan*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Volume 2 Nomor 1. Bandung: Institut Teknologi Nasional