

PENGARUH VARIASI DIAMETER DAN JARAK KOLOM CAMPURAN ABU TERBANG DAN ABU DASAR DENGAN POLA SEGI EMPAT TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH GAMBUT

Aisyah Putri⁽¹⁾, Muhardi⁽²⁾, Ferry Fatnanta⁽³⁾

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: aisyah.putri@student.unri.ac.id

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: muhardi@eng.unri.ac.id

³ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: fatnanto1964@gmail.com

ABSTRACT

Group of columns that inserted in the soft soil will increase shear strength and density of the soil, reduce soil settlement and liquefaction potential, and increase bearing capacity of the soil. Things that must be considered in columns design are diameter, length, space, and pattern of the columns group. This study aims to see the effect of diameter and column spacing on bearing capacity of peat. Variation of diameter that used in this study are 3 cm, 4 cm, and 5,5 cm. Variation of space that used in this study are 1,25D, 1,5D, and 1,75D.

The results of laboratory testing indicate that increasing the diameter dan decreasing the space between columns will increase bearing capacity of stabilized peat. Maximum bearing capacity given by 5,5 cm diameter and 1,25D space variation. The increasing of bearing capacity reaches 74,49%. The results of theoretical analysis give different tendency. Increasing of diameter dan space between columns will increase bearing capacity of the stabilized peat. This tendency difference is due to the influence of overlap between soils within the unit cell due to the very close space of the column.

Keywords : stone column, diameter, space, bearing capacity

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar tanah yang ada di propinsi Riau adalah tanah lunak berupa lempung, lanau dan gambut. Tanah lunak ini memiliki daya dukung yang rendah sehingga akan menimbulkan permasalahan ketika digunakan sebagai tanah dasar baik untuk konstruksi bangunan maupun jalan. Agar konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak tidak terganggu kestabilannya, maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Salah satu metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan yaitu menggunakan *stone column*. *Stone column* adalah kolom-kolom vertikal dari kerikil yang dipadatkan di dalam tanah. Fungsi utama pemasangan *stone column* adalah untuk meningkatkan

daya dukung tanah yang lembek sehingga tanah lembek tersebut dapat menerima beban yang lebih besar dan penurunan (*settlement*) yang terjadi akan berkurang (Nurtjahjaningtyas & Maliki, 2009).

Pemasangan kolom pada tanah akan mempengaruhi kepadatan dan kuat geser tanah di sekitar kolom. Satu kolom dan tanah lunak yang mengelilinginya disebut sebagai satu unit sel. Perbedaan pola dan jarak pemasangan kolom akan mempengaruhi bentuk unit sel sehingga akan mempengaruhi perbandingan luas area kolom dan tanah yang mengelilinginya (*area replacement ratio*). *Area replacement ratio* akan mempengaruhi distribusi tegangan yang terjadi pada kolom dan tanah

yang mengelilinginya dan mempengaruhi kuat geser tanah tersebut.

Selain kerikil, penggunaan pasir, kapur, campuran kapur dengan semen, sodium silika, dan material kimia lainnya juga umum digunakan sebagai material pembuatan kolom. Campuran kapur dengan semen, sodium silika, ataupun material kimia lain akan menyebabkan terjadi reaksi pozzolan antara kolom dan tanah. Hal ini akan meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi indeks kompresibilitas tanah. Bahan lain yang juga digunakan sebagai material kolom adalah abu terbang dan abu dasar.

Penggunaan abu batubara dalam bidang konstruksi sudah banyak dilakukan. Abu terbang (*fly ash*) dapat digunakan sebagai pengganti portland cement, material konstruksi jalan, campuran grouting, material stabilisasi tanah, dan pemanfaatan lainnya. Campuran *fly ash* pada tanah ekspansif dapat mengurangi sifat kembang susut tanah tersebut. Penambahan *fly ash* ke dalam tanah dapat menurunkan specific gravity (G_s), meningkatkan indeks plastisitas (PI), meningkatkan berat volume kering (*dry density*), menurunkan potensi pengembangan (*swelling potential*), dan menaikkan kekuatan tanah. (Budi, Cristanto, & Setiawan, 2003).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Studi literatur

Penggunaan abu terbang sebagai kolom untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif memberikan pengaruh berupa menurunnya pengembangan tanah, hal ini disebabkan karena *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* yaitu mengeras ketika bereaksi dengan air, sehingga tanah akan tertahan untuk tidak mengembang. Selain memberi pengaruh pada potensi pengembangan tanah, stabilisasi menggunakan kolom juga memberikan peningkatan daya dukung tanah (Putranto, Zaika, & Suryo, 2015).

Muhardi, Satibi, & Hamdani, (2016) melakukan pengujian terhadap campuran abu terbang dan abu dasar dengan proporsi campuran dimulai dari 10% abu terbang

sampai 90% abu terbang. Hasil proktor standar menunjukkan nilai berat kering maksimum campuran akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar abu dasar, dan kadar air optimum mengalami penurunan. Sementara itu, dengan bertambahnya kadar abu dasar maka kuat geser cenderung menurun karena kecilnya sifat kohesif dari abu dasar.

Kolom-kolom yang ditanam berkelompok di dalam tanah lunak akan meningkatkan kuat geser tanah, meningkatkan kepadatan tanah, mengurangi penurunan tanah, mengurangi potensi liquifaksi, dan dapat meningkatkan stabilitas lereng. Çelik & Çanakçı (2011) melakukan penelitian mengenai kuat geser tanah organik yang diperkuat menggunakan kolom pasir. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa rasio area kolom pasir terhadap tanah organik (*area replacement ratio*) merupakan faktor penting yang mempengaruhi kuat geser dari tanah organik yang distabilisasi.

Anshorie, Zaika, & Munawir (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif terhadap daya dukung tanah. Diameter kolom yang digunakan adalah 3 cm. Variasi jarak antar kolom yaitu 1D, 1,25D, dan 1,5D, dan variasi panjang kolom (D_f) yaitu 1B, 2B, dan 3B. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa daya dukung tanah meningkat seiring dengan jarak antar kolom semakin rapat dan panjang kolom semakin panjang.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Tanah gambut dan abu batubara yang digunakan pada penelitian ini diuji sifat fisis dan mekanisnya terlebih dahulu. Uji properties fisis dan mekanis yang dilakukan pada tanah gambut berdasarkan pada ASTM. Sedangkan properties fisis dan mekanis abu batubara diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhardi (2016). Perbandingan campuran abu terbang dan abu dasar yang digunakan sebagai material kolom yaitu 40% abu terbang + 60% abu dasar.

Persiapan Benda Uji

Campuran abu terbang dan abu dasar dipadatkan menggunakan pemadatan standar dengan kadar air OMC. Kolom dicetak menggunakan pipa PVC yang dibelah dua kemudian diberi pelumas di bagian dalam pipa. Pemberian pelumas ini bertujuan agar campuran abu terbang dan abu dasar tidak lengket ke sisi dalam pipa ketika dipadatkan. Pipa cetakan yang sudah diberi pelumas kemudian disatukan kembali dan direkatkan menggunakan lakban. Selanjutnya campuran abu terbang dan abu dasar yang sudah diaduk dengan air dipadatkan di dalam cetakan pipa tersebut. Setelah proses pemadatan selesai, lakban dibuka dan cetakan dilepas secara perlahan agar kolom tidak retak atau bahkan hancur. Panjang kolom setelah dipadatkan adalah 20 cm. Kolom yang sudah dikeluarkan dari cetakan dimasukkan ke dalam plastik dan diperam selama satu hari.

Tanah gambut yang akan distabilisasi menggunakan kolom harus dipersiapkan satu hari sebelum pengujian pembebanan. Tanah gambut dimasukkan ke dalam bak uji dalam beberapa lapisan. Setiap lapis diberi air hingga kondisinya jenuh dan diaduk rata. Kemudian tanah didiamkan selama satu hari.

Metode Uji Pembebanan

Sebelum kolom ditanam ke dalam tanah di dalam bak uji, terlebih dahulu dilakukan uji *vane shear* pada tanah untuk mengontrol bahwa berdasarkan kuat gesernya tanah tergolong tanah lunak. Kolom ditanam ke dalam tanah sesuai dengan konfigurasi yang telah direncanakan. Kolom ditanam bersama dengan plastik pelapis yang dipasang sebelumnya. Fungsi plastik pelapis adalah untuk mencegah masuknya air tanah ke dalam kolom, karena kadar air gambut sangat tinggi dan permeabilitas material kolom cukup besar, kolom akan hancur ketika ditanam tanpa pelapis kedap air. Panjang kolom yang masuk ke dalam tanah adalah 20 cm, sehingga permukaan kolom dan permukaan tanah sama rata. Diatas tanah yang ditanam kolom

diletakkan plat sebagai penerus beban dan sebagai model pondasi.

Pemberian beban pada tanah dilakukan menggunakan *hydraulic jack*. Piston hydraulic jack diletakkan tepat di atas titik berat plat. Untuk mengukur penurunan yang terjadi, diletakkan sebuah dial gauge di atas plat dan posisi dial gauge diatur agar tidak mudah bergeser, sehingga akan didapatkan data penurunan yang akurat. Beban berupa tekanan diberikan secara bertahap, yaitu peningkatan tekanan per-20 psi (1,41 kg/cm²). Data yang dikumpulkan selama uji pembebanan adalah data kuat geser tanah, penurunan tanah, dan tekanan yang diberikan.

Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan selama pengujian dianalisis untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit tanah gambut. Analisis yang dilakukan adalah :

1. Data hasil uji pembebanan diplot ke dalam grafik tekanan vs penurunan. Grafik ini kemudian diinterpretasi menggunakan metode penurunan 20 mm untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit tanah
2. Analisis daya dukung ultimit tanah secara teoritis dilakukan dengan metode yang disarankan oleh Barksdale & Bachus (1983). Ada dua macam analisis teoritis yang dilakukan. Analisis pertama dilakukan berdasarkan daya dukung kolom tunggal. Analisis kedua dilakukan berdasarkan daya dukung kolom grup.
3. Daya dukung ultimit dari hasil uji pembebanan dan analisis teoritis diplot ke dalam grafik daya dukung vs variasi sampel untuk melihat perbedaan daya dukung dari masing-masing analisis yang dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Properties Tanah Gambut

Hasil uji properties tanah gambut asli disajikan pada **Tabel 1**. Berdasarkan ASTM D 4427-92 klasifikasi tanah gambut asli

yang digunakan pada penelitian ini adalah gambut *Sapric low ash*.

Tabel 1. Hasil Uji Properties Tanah Gambut Asli

Properties Tanah	Satuan	Hasil
Kadar Air	(w) %	478,41
Berat Volume Basah	(γ_b) gr/cm ³	1,08
	kN/m ³	10,64
Berat Jenis	(Gs)	1,46
Angka Pori	(e)	6,79
Kadar Abu	(Ac) %	2,43
Kadar Organik	(Oc) %	97,57
Kadar Serat	%	7,75

Kuat geser tanah gambut asli diuji menggunakan alat *vane shear*. Nilai kuat geser tanah gambut asli yaitu 7 kPa, nilai ini menandakan bahwa tanah gambut yang digunakan tergolong tanah sangat lunak. Kuat geser tanah gambut di dalam bak uji dicek setiap kali variasi kolom baru dimasukkan ke dalam tanah. **Tabel 2** menampilkan nilai kuat geser rerata tanah gambut di dalam bak pengujian.

Tabel 2. Nilai Kuat Geser Rerata Tanah Gambut di Dalam Bak Uji

Pengujian ke-	Kuat Geser Rerata, Su (kPa)
1	0,96
2	0,64
3	1,17

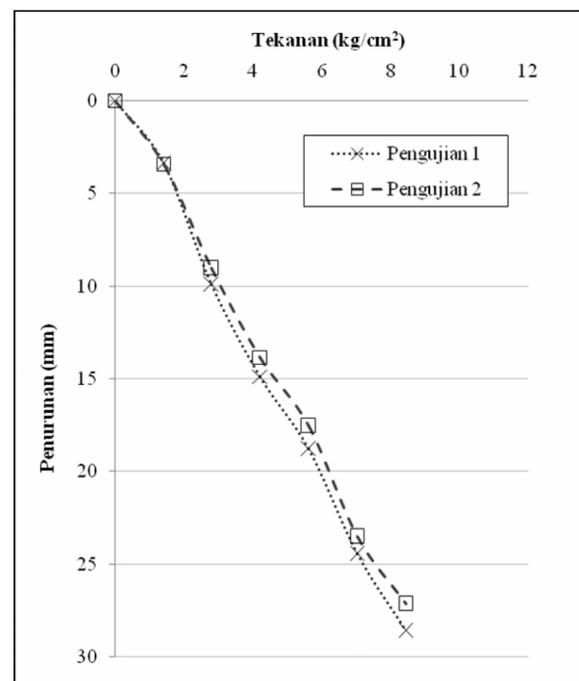
Daya Dukung Tanah Gambut Tanpa Perkuatan Kolom

Tanah gambut yang tidak diberi perkuatan kolom diuji daya dukungnya menggunakan *hydraulic jack*. Data penurunan dan tekanan diplot pada grafik tekanan vs penurunan dan kemudian diinterpretasi menggunakan metode penurunan 20 mm. Daya dukung ultimit tanah gambut tanpa perkuatan kolom berdasarkan hasil uji pembebanan adalah

6,08 kg/cm². Data tekanan dan penurunan tanah gambut tanpa perkuatan kolom disajikan pada **Tabel 3** dan **Gambar 1**.

Tabel 3. Data Tekanan dan Penurunan Tanah Gambut Tanpa Perkuatan Kolom

Tekanan		Penurunan			
		Pengujian 1		Pengujian 2	
psi	kg/cm ²	unit	mm	unit	mm
0	0,00	0	0,00	0	0,00
20	1,41	339	3,39	342	3,42
40	2,81	992	9,92	904	9,04
60	4,22	1489	14,89	1384	13,84
80	5,63	1879	18,79	1754	17,54
100	7,03	2444	24,44	2351	23,51
120	8,44	2859	28,59	2716	27,16

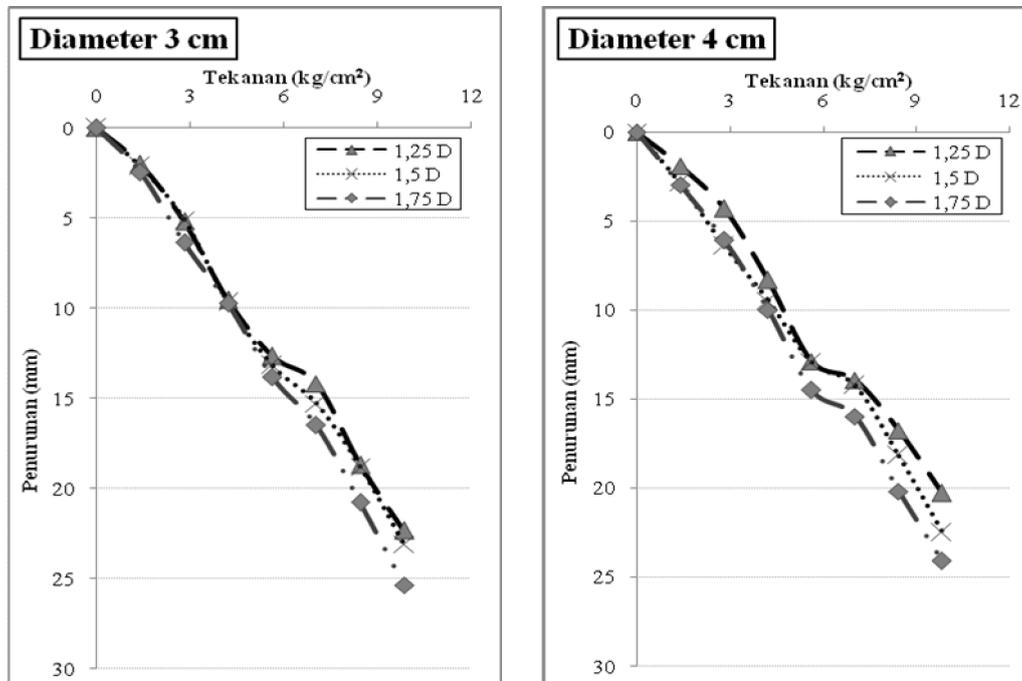


Gambar 1. Grafik Tekanan vs Penurunan Tanah Gambut Tanpa Perkuatan Kolom

Daya Dukung Tanah Gambut Dengan Perkuatan Kolom

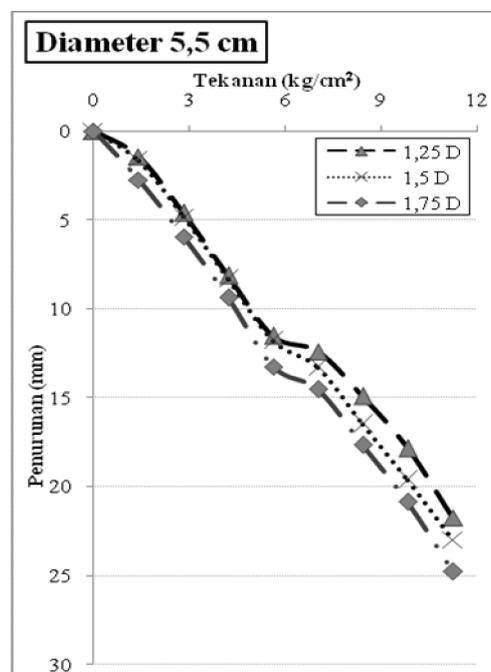
a. Analisis daya dukung hasil uji pembebanan

Gambar 2 menampilkan hasil uji pembebanan pada tanah gambut yang telah diperkuat menggunakan kolom.



(a)

(b)



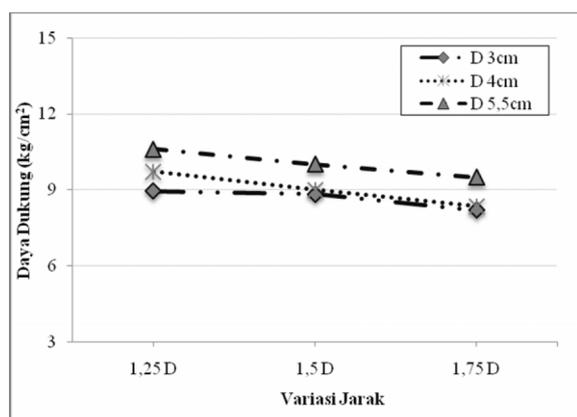
(c)

Gambar 2. Grafik Tekanan vs Penurunan Tanah Gambut dengan Perkuatan Kolom

Grafik tekanan vs penurunan tanah gambut dengan perkuatan kolom diinterpretasi menggunakan metode penurunan 20 mm untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimitnya. Rekapitulasi daya dukung tanah yang telah diperkuat berdasarkan hasil uji pembebanan ditampilkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi Daya Dukung Ultimit Tanah Gambut dengan Perkuatan Kolom Metode Penurunan 20 mm

Variasi Sampel	Daya Dukung	Peningkatan Daya
Dia	Jarak	Dukung (%)
	(kg/cm ²)	
Tanpa Kolom	6,08	0,00
3 cm	1,25 D	8,95
	1,5 D	8,83
	1,75 D	8,20
4 cm	1,25 D	9,72
	1,5 D	9,00
	1,75 D	8,35
5,5 cm	1,25 D	10,60
	1,5 D	10,00
	1,75 D	9,50



Gambar 3. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ultimit Tanah dengan Perkuatan Kolom Metode Penurunan 20 mm

Dari **Tabel 4** dan **Gambar 3** dapat dilihat pengaruh diameter dan jarak kolom

terhadap daya dukung tanah gambut. Semakin besar diameter dan semakin kecil jarak pemasangan kolom, maka daya dukung tanah gambut akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anshorie et al., (2011). Berdasarkan hasil uji pembebanan daya dukung ultimit terbesar diberikan oleh variasi diameter 5,5 cm dengan jarak 1,75 D. Peningkatan daya dukung yang terjadi mencapai 74,49%.

b. Analisis daya dukung teoritis berdasarkan kolom tunggal

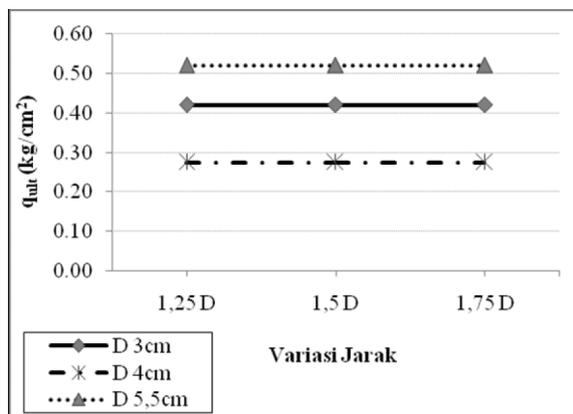
Analisis daya dukung tanah secara teoritis berdasarkan kolom tunggal dilakukan dengan cara menghitung daya dukung satu buah unit sel dan kemudian mengalikan daya dukung tersebut dengan jumlah kolom di dalam kelompok kolom. **Tabel 5** menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung kolom tunggal dan daya dukung kolom grup berdasarkan analisis kolom tunggal secara teoritis

Tabel 5. Daya Dukung Ultimit Tanah Secara Teoritis Berdasarkan Kolom Tunggal

Dia	Jarak	q _{ult} tunggal	P _{ult} tunggal	q _{ult} grup	P _{ult} grup
		kg/cm ²	kg	kg/cm ²	kg
3 cm	1,25 D	0,11	0,74	0,42	2,97
	1,5 D	0,11	0,79	0,42	3,16
	1,75 D	0,11	0,84	0,42	3,37
4 cm	1,25 D	0,07	0,86	0,27	3,44
	1,5 D	0,07	0,890	0,27	3,59
	1,75 D	0,07	0,94	0,27	3,76
5,5 cm	1,25 D	0,13	3,09	0,52	12,36
	1,5 D	0,13	3,32	0,52	13,27
	1,75 D	0,13	3,59	0,52	14,35

Maksud dari q_{ult} tunggal dan P_{ult} tunggal pada **Tabel 5** adalah daya dukung untuk satu buah kolom (satu buah unit sel).

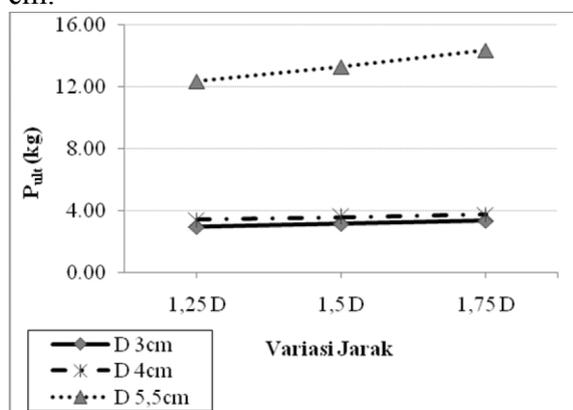
Sementara q_{ult} grup dan P_{ult} grup adalah daya dukung kolom tunggal yang dikalikan jumlah kolom di dalam kelompok kolom tersebut.



Gambar 4. q_{ult} Kolom Grup

Pada **Gambar 4** terlihat bahwa variasi jarak kolom tidak berpengaruh terhadap daya dukung jika dihitung dalam satuan tekanan. Hal ini disebabkan karena q_{ult} adalah daya dukung unit sel per satuan luas, sehingga tidak memperhitungkan luas area unit sel.

Pada **Gambar 4** juga terlihat q_{ult} kolom diameter 3,00 cm lebih besar dibandingkan kolom diameter 4,00 cm. Hal ini disebabkan karena nilai q_{ult} dihitung berdasarkan besarnya tegangan yang bekerja sangat tergantung pada nilai kuat geser tanah. Sementara kuat geser tanah pada saat kolom diameter 3,00 cm diuji lebih besar dibandingkan kuat geser tanah pada saat kolom diameter 4,00 cm diuji. Hal ini menyebabkan daya dukung kolom tunggal dengan diameter 3,00 cm lebih besar daripada kolom diameter 4,00 cm.



Gambar 5. P_{ult} Kolom Grup

Pada **Gambar 5** terlihat bahwa variasi jarak kolom berpengaruh terhadap daya dukung jika dihitung dalam satuan beban. Hal ini disebabkan karena P_{ult} adalah besar beban yang mampu ditahan oleh unit sel, sehingga perlu memperhitungkan luas area unit sel. Luas area unit sel ditentukan melalui *area replacement ratio* yang merupakan fungsi dari pola, diameter, dan jarak pemasangan kolom, hal ini menyebabkan terjadi perbedaan daya dukung jika jarak pemasangan kolom divariasikan.

Pada **Gambar 5** juga terlihat nilai P_{ult} kolom diameter 4,00 cm lebih besar dibandingkan kolom diameter 3,00 cm. Hal ini karena pada perhitungan P_{ult} nilai tegangan dikalikan dengan luas area kolom dan luas area tanah. Walaupun nilai σ_s dan σ_c yang bekerja pada unit sel sama untuk setiap variasi jarak, namun luas area tanah yang terpengaruh oleh kolom akan berbeda karena adanya perubahan nilai *area replacement ratio* yang merupakan fungsi dari pola, diameter, dan jarak pemasangan kolom. M.Y. Fattah et al (2017) juga mengatakan bahwa *area replacement ratio* merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam memprediksi daya dukung ultimit *stone column*. Hal ini menunjukkan bahwa diameter dan jarak pemasangan kolom sangat berpengaruh terhadap daya dukung kolom grup.

Berdasarkan **Gambar 4** dan **Gambar 5** dapat diambil kesimpulan daya dukung tanah berdasarkan analisis teoritis kolom tunggal akan semakin meningkat apabila diameter dan jarak kolom semakin besar. Daya dukung terbesar dimiliki oleh kolom dengan diameter 5,5 cm dan jarak pemasangan kolom 1,75D. Nilai daya dukung kolom grup terbesar adalah 14,35 kg.

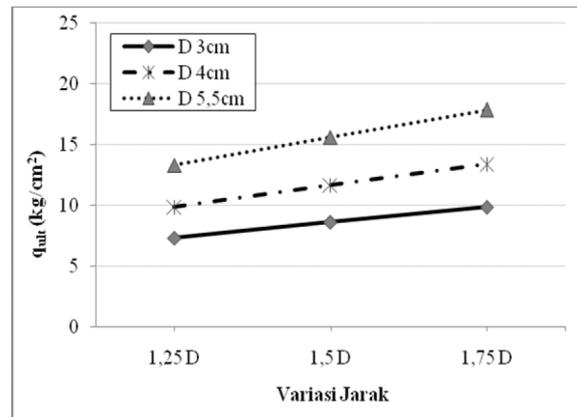
c. Analisis daya dukung teoritis berdasarkan kolom grup

Analisis daya dukung tanah secara teoritis berdasarkan kolom grup meninjau daya dukung semua kolom dan tanah di bawah pondasi sebagai satu kesatuan.

Asumsi yang digunakan adalah sudut geser internal tanah dan kohesi material kolom diabaikan. Asumsi selanjutnya, tanah akan runtuh pada suatu bidang keruntuhan yang lurus dan membentuk suatu blok segitiga. Tegangan ultimit yang dapat ditahan oleh tanah dan kolom di dalam blok segitiga tersebut tergantung pada tahanan lateral ultimit dari blok yang bergerak dan tahanan geser komposit yang terbentuk di sepanjang bidang keruntuhan. Ukuran pondasi yang digunakan pada analisis teoritis berdasarkan kolom grup ini adalah ukuran plat yang diletakkan di atas tanah dan kolom pada saat uji pembebanan dilakukan. **Tabel 6** menampilkan rekapitulasi daya dukung tanah yang dihitung berdasarkan analisis kolom grup.

Tabel 6. Daya Dukung Ultimit Tanah Secara Teoritis Berdasarkan Kolom Grup

Diameter	Jarak	q_{ult} (kg/cm^2)
3 cm	1,25 D	7,32
	1,5 D	8,61
	1,75 D	9,86
4 cm	1,25 D	9,86
	1,5 D	11,66
	1,75 D	13,39
5,5 cm	1,25 D	13,29
	1,5 D	15,61
	1,75 D	17,87



Gambar 6. Daya Dukung Tanah Berdasarkan Analisis Kolom Grup

Daya dukung tanah yang dihitung dengan analisis teoritis berdasarkan kolom grup memperlihatkan bahwa semakin besar diameter dan jarak kolom akan meningkatkan daya dukung tanah yang distabilisasi. Daya dukung ultimit maksimum diberikan oleh variasi kolom diameter 5,5 cm dengan jarak 1,75 D. Nilai daya dukung maksimum berdasarkan analisis kolom grup adalah $17,87 kg/cm^2$.

Perbandingan Daya Dukung Tanah Hasil Uji Pembebanan dengan Analisis Teoritis

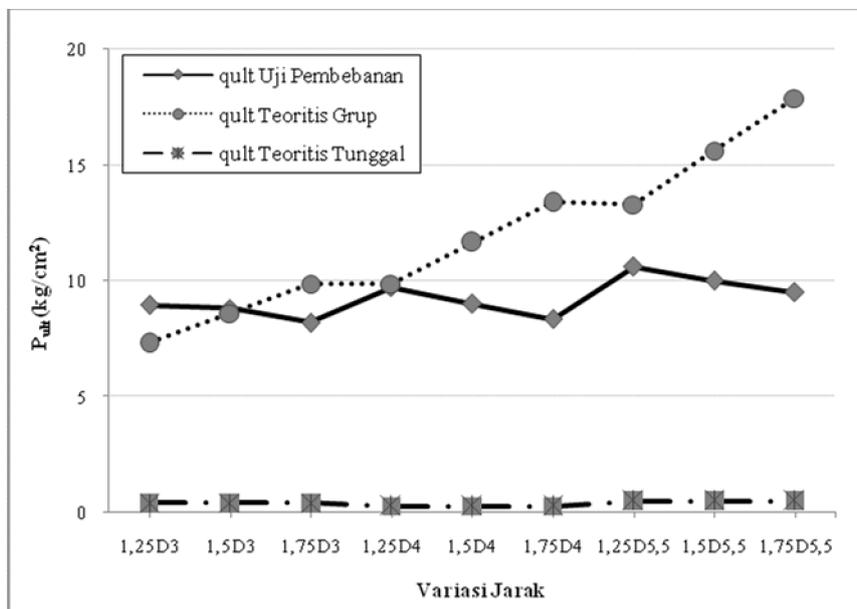
Tabel 7 dan **Gambar 7** menampilkan rekapitulasi daya dukung tanah hasil uji pembebanan dan analisis teoritis. Dapat dilihat bahwa daya dukung hasil uji pembebanan mendekati daya dukung teoritis berdasarkan analisis kolom grup. Namun, terdapat perbedaan pada pola peningkatan daya dukungnya. Hasil uji pembebanan menunjukkan bahwa semakin kecil jarak kolom maka daya dukung tanah akan meningkat, sementara hasil teoritis berdasarkan analisis kolom grup menunjukkan bahwa semakin besar jarak kolom maka daya dukungnya semakin meningkat. Perbedaan ini disebabkan karena pada analisis teoritis tidak dipertimbangkan pengaruh tumpang tindih antara tanah di setiap unit sel. Sehingga ketika jarak kolom semakin besar maka luasan tanah yang menahan beban akan semakin besar, hal ini yang menyebabkan daya dukung semakin meningkat.

Sementara itu pada saat pengujian dilakukan, ketika jarak kolom semakin besar, luasan tanah yang tumpang tindih

menjadi semakin kecil, hal ini menyebabkan berkurangnya tekanan lateral di sekitar kolom.

Tabel 7. Rekapitulasi Daya Dukung Tanah Hasil Uji Pembebanan dan Analisis Teoritis

Dia	Jarak	q_{ult} Hasil Pengujian	q_{ult} Teoritis Tunggal	q_{ult} Teoritis Grup
3 cm	1,25 D	8,95	0,42	7,32
	1,5 D	8,83	0,42	8,61
	1,75 D	8,20	0,42	9,86
4 cm	1,25 D	9,72	0,27	9,86
	1,5 D	9,00	0,27	11,66
	1,75 D	8,35	0,27	13,39
5,5 cm	1,25 D	10,60	0,52	13,29
	1,5 D	10,00	0,52	15,61
	1,75 D	9,50	0,52	17,87



Gambar 7. Perbandingan Daya Dukung Tanah Hasil Uji Pembebanan Dengan Analisis Teoritis

Pada **Gambar 7** terlihat perbedaan signifikan antara daya dukung hasil uji pembebanan dengan daya dukung

berdasarkan analisis kolom tunggal. Perbedaan tersebut disebabkan karena adanya distorsi akibat penskalaan yang

dilakukan pada model kolom. Pada penelitian ini kolom dimodelkan dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran di lapangan, sementara kekuatan tanah tidak diperkecil (kekuatan tanah asli) sehingga pada saat pengujian dilakukan tanah seolah-olah menjadi sangat kuat. Sedangkan jika kolom dipasang dengan ukuran sebenarnya di lapangan maka kekuatan tanah akan menjadi lebih kecil dibandingkan kolom dan akan menghasilkan daya dukung yang lebih kecil sesuai dengan perhitungan teoritis.

Namun, pada **Gambar 7** juga terlihat perbedaan yang signifikan antara daya dukung teoritis analisis kolom grup dengan analisis kolom tunggal. Perbedaan ini disebabkan karena pada analisis kolom tunggal luas area yang diperhitungkan hanyalah luas unit sel, sementara pada analisis kolom grup luas area yang diperhitungkan adalah luas plat yang ada di atas kolom grup sebagai model pondasi. Selain itu, pada analisis kolom tunggal kuat geser tanah dan kolom ditinjau secara terpisah, sedangkan pada analisis kolom grup kuat geser yang digunakan adalah kuat geser komposit dari tanah dan kolom yang berada di dalam blok keruntuhan. Perbedaan parameter luas dan kuat geser yang digunakan dalam perhitungan tersebut yang menyebabkan terjadinya perbedaan signifikan. Hal ini memperlihatkan bahwa pendekatan menggunakan analisis kolom grup lebih tepat dipakai untuk pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini.

Dari penjelasan di atas terlihat bahwa diameter dan jarak kolom memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya dukung tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa diameter kolom yang lebih besar dan jarak kolom yang lebih kecil akan semakin meningkatkan daya dukung tanah. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anshorie, Zaika, & Munawir, (2011), Kurniawan, (2015), dan Putranto et al., (2015) yang menyatakan bahwa semakin kecil jarak kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat.

Namun ada perbedaan antara hasil pengujian dengan hasil analisis teoritis. Hasil analisis teoritis justru memperlihatkan bahwa diameter kolom yang lebih besar dan jarak kolom yang lebih besar akan semakin meningkatkan daya dukung tanah. Perbedaan ini disebabkan karena analisis teoritis tidak memperhitungkan adanya tumpang tindih antara tanah yang ada di dalam unit sel. Hasil analisis teoritis juga memperlihatkan bahwa *area replacement ratio* merupakan parameter yang sangat mempengaruhi daya dukung kolom grup.

V. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil uji pembebanan, semakin besar diameter kolom dan semakin kecil jarak kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat.
2. Daya dukung maksimum dari uji pembebanan diberikan oleh variasi diameter 5,5 cm dengan jarak 1,25D. Nilai daya dukung maksimum adalah 10,60 kg/cm² dengan peningkatan daya dukung sebesar 74,49%.
3. Berdasarkan hasil analisis teoritis, semakin besar diameter kolom dan semakin besar jarak kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat.
4. Daya dukung maksimum dari analisis teoritis diberikan oleh variasi diameter 5,5 cm dengan jarak 1,75D. Nilai daya dukung maksimum berdasarkan analisis kolom tunggal adalah 0,52 kg/cm². Nilai daya dukung maksimum berdasarkan analisis kolom grup adalah 17,87 kg/cm².
5. Perbedaan kecenderungan daya dukung hasil pengujian dengan hasil analisis teoritis disebabkan karena adanya pengaruh tumpang tindih antar tanah yang ada di dalam unit sel akibat jarak pemasangan kolom yang sangat dekat, sementara pada analisis teoritis pengaruh tumpang tindih antara tanah di dalam unit sel tidak dipertimbangkan.
6. Ada perbedaan yang signifikan antara daya dukung teoritis berdasarkan analisis kolom tunggal dengan kolom

grup. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan luas area tanah serta kuat geser tanah dan kolom yang digunakan di dalam perhitungan.

7. Dari perbandingan daya dukung hasil uji pembebanan dengan hasil analisis teoritis dapat diambil kesimpulan bahwa analisis teoritis berdasarkan kolom grup lebih cocok dipakai sebagai pendekatan teoritis pada penelitian ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Anshorie, A. Al, Zaika, Y., & Munawir, A. (2011). Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 3 Cm Terhadap Daya Dukung Tanah, 1–8.

ASTM D 4427-92. Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing, Pub. L. No. D 4427 (2002).

Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983). *Design and Construction of Stone Columns Vol. I.*

Budi, G. S., Cristanto, A., & Setiawan, E. (2003). Pengaruh *Fly ash* terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Civil Engineering Dimension*, 5(1), 20–24. https://doi.org/10.1007/SpringerReference_226331

Çelik, F., & Çanakçı, H. (2011). Shear Strength Properties of Organic Soil with Sand Column. *International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE*, 1–6.

Fattah, M. Y., Al-Neami, M. A., & Al-Suhaily, A. S. (2017). Estimation of Bearing Capacity of Floating Group of Stone Columns. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.03.005>

Kurniawan, I. D. (2015). *Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Deep Soil Mix (DSM) 15% Fly ash Diameter 3cm Berpola Panels Terhadap Daya Dukung Tanah Ekspansif di*

Bojonegoro. Universitas Brawijaya.

Muhardi. (2016). Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian*, 8(2), 18–27.

Muhardi, Satibi, S., & Hamdani, R. (2016). Karakteristik Mekanis Campuran Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. *20th Annual National Conference on Geotechnical Engineering*, 153–156.

Nurtjahjaningtyas, I., & Maliki, A. (2009). Efektifitas Penggunaan Stone Column untuk Mengurangi Besar Pemampatan pada Tanah dengan Daya Dukung Rendah. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, 493–500.

Putranto, A. R., Zaika, Y., & Suryo, E. A. (2015). Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansi di Bojonegoro dengan 15 % *Fly ash* Menggunakan Metode Deep Soil Mixing Berpola Single Square Terhadap Daya Dukung Tanah. Malang.