

PERBAIKAN TANAH GAMBUT DENGAN METODA KOLOM KONFIGURASI SEGITIGA DARI CAMPURAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH

Imam Hanafi⁽¹⁾, Muhardi⁽²⁾, Ferry Fatnanta⁽³⁾

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

Email: imam.hanafi@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

Stone column is a digging and replacement effort undertaken to replace soils to be used as base of construction with compacted vertical columns. In this research, column with fly ash and bottom ash mixtures with 40% fly ash and 60% bottom ash is used.

The columns are used as reinforcement of peat soil with triangular pattern. Variations used are 3 cm, 4 cm, and 5,5 cm in diameter (D) with spaces 1,25D, 1,5D, and 1,75D. Loading test was performed to the stabilized peat soil and bearing capacity of the soil was analyzed by 20 mm settlement method and theoretical analysis suggested by Barksdale and Bachus (1983).

Results of the 20 mm settlement method obtained maximum bearing capacity is given by 5,5 cm diameter and 1,25 D space variation. The maximum bearing capacity is 9,20 kg/cm² with an increase of 51,07%. For theoretical analysis of single column, maximum bearing capacity is given by 3 cm diameter and for theoretical analysis of group columns, maximum bearing capacity is given by 5,5 cm diameter and 1,75 D space variation.

Keywords : stone column, diameter, space, bearing capacity

I. PENDAHULUAN

Posisi Provinsi Riau yang berada di daerah pesisir dan dataran rendah menyebabkan sebagian besar daerahnya mempunyai tanah dasar yang lunak, umumnya berupa endapan lumpur, lanau, lempung dan gambut dengan perilaku yang bervariasi. Selain itu, semakin terbatasnya lahan untuk pembangunan menimbulkan masalah dalam pembangunan konstruksi. Salah satu diantaranya badan jalan yang harus dibangun di atas tanah lunak.

Agar konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak tidak mengganggu kestabilannya, maka perlu dilakukan perbaikan. Diantara metode-metode perkuatan tanah yang sedang berkembang saat ini, salah satunya adalah dengan membuat *stone column*. *Stone column* merupakan upaya penggalian yang dilakukan untuk mengganti sebagian

tanah yang akan digunakan sebagai dasar konstruksi dengan kolom vertikal yang dipadatkan. (Iskandar et al, 2016)

Saat ini penggunaan batubara di perusahaan-perusahaan besar *pulp and paper* di Propinsi Riau semakin meningkat volumenya, karena harga yang relatif murah dibandingkan bahan bakar minyak untuk industri. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pengganti BBM, disatu sisi sangat menguntungkan namun disisi yang lain menimbulkan masalah, salah satunya adalah banyak menghasilkan limbah abu batu bara yang tidak dimanfaatkan. Kalangan industri hanya menimbun sisa pembakaran batubara ini dalam areal pabrik. Hal ini lama kelamaan menimbulkan masalah semakin terbatasnya lahan untuk penimbunan polutan padat tersebut. Pembakaran abu batu bara akan

menghasilkan limbah berupa abu dasar (*bottom ash*) sebesar 20% dan abu terbang (*fly ash*) sebesar 80 %.(Muhardi dkk, 2007)

Abu batu bara mempunyai berat jenis yang kecil, sehingga dapat mengurangi beban berat sendiri jika dimanfaatkan sebagai campuran untuk stabilisasi tanah seperti pada konstruksi jalan, stabilitas lereng, perkuatan pada dinding penahan tanah dan reklamasi tanah. (Muhardi dkk, 2010). Kajian pendahuluan yang pernah dilakukan adalah penelitian tentang sifat fisis dan mekanis abu batu bara telah dilakukan dalam rekayasa geoteknik oleh peneliti, seperti yang dilakukan oleh Muhardi (2011) berupa disertasi S3 tentang pemanfaatan abu terbang sebagai material pembuatan lereng di atas tanah lunak lempung dan keras dengan menguji menggunakan alat *centrifuge* dan membandingkannya dengan metoda elemen hingga (*finite element method*). Hasil yang didapat bahwa abu terbang bisa digunakan sebagai material pembuatan lereng. Penurunan pada lereng dan pondasi jalan yang terjadi bisa dikurangi secara signifikan jika dibandingkan dengan memakai tanah residu. Lee (2009) juga melakukan pengujian sifat fisis dan mekanis abu dasar. Hasil yang didapat bahwa abu dasar mempunyai berat jenis yang rendah dan kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan tanah timbunan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Gambut

Gambut (*Peat*) merupakan campuran dari fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah berubah sifatnya secara kimiawi dan menjadi fosil. Material gambut yang berada dibawah permukaan mempunyai daya mampat yang tinggi dibandingkan dengan material tanah yang umumnya (Mac Farlane, 1958).

Klasifikasi gambut menurut *American Society for Testing and Material* (ASTM) D 4427-92 dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** berikut :

Tabel 1. Klasifikasi Gambut Berdasarkan Kadar serat

Klasifikasi	Keterangan
Fibric	Gambut dengan serat lebih dari 67%
Hemic	Gambut dengan serat antara 33% dan 67%
Sapric	Gambut dengan serat kurang dari 33%

Sumber : ASTM D 4427-92

Tabel 2. Klasifikasi Gambut Berdasarkan Kadar Abu

Klasifikasi	Keterangan
Low Ash	Gambut dengan kadar abu kurang dari 5%
Medium Ash	Gambut dengan kadar abu antara 5% dan 15%
High Ash	Gambut dengan kadar abu lebih dari 15%

Sumber : ASTM D 4427-92

Fly Ash

Fly ash merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara.

Penggunaan fly ash dalam bidang teknik sipil telah banyak dilakukan diberbagai penjuru dunia, selain sebagai pengganti pengganti sebagian berat semen juga dilakukan dalam bidang lainnya. Pada Mei 2007, Henry Liu pensiunan Insinyur Sipil dari Amerika mengumumkan bahwa dia menemukan sesuatu yang baru terdiri dari *fly ash* dan air. Dipadatkan pada 4000 psi dan diperam 24 jam pada temperatur 668°C *steam bath*, kemudian dikeraskan dengan bahan *air entrainment*, batu bata berakhir untuk lebih dari 100 *freeze-thaw cycle*. Metode pembuatan batu bata ini dapat dikatakan menghemat energi, mengurangi polusi merkuri dan biayanya 20% lebih hemat dari pembuatan batu bata tradisional dari lempung.

Bottom Ash

Bottom ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran pada pembangkit listrik tenaga uap atau pada dalam bidang industri. Secara kimiawi *bottom ash* memiliki kesamaan dengan *fly*

ash yang mana sering digunakan untuk pengganti semen. Kesamaan inilah yang membuat banyak penelitian tentang penggunaan kembali limbah batubara ini. Pemanfaatan *bottom ash* dalam bidang teknik sipil sudah banyak dilakukan seperti pada perkerasan jalan sebagai komponen agregat dan dalam bidang teknik sipil lainnya.

Campuran Fly Ash dan Bottom Ash

Penelitian tentang campuran *fly ash* dan *bottom ash* juga telah dilakukan oleh peneliti di berbagai daerah termasuk Indonesia. Muhandi dkk dalam penelitiannya mencari persentase optimum dari campuran *fly ash* dan *bottom ash* berdasarkan dari segi kekuatannya dan melihat pengaruh pemeraman terhadap sampel selama 0 dan 28 hari. Hasil dari pengujian Proktor Standar yaitu seiring dengan bertambahnya kadar *bottom ash* pada campuran, berat kering maksimum mengalami peningkatan sedangkan kadar air optimum mengalami penurunan. Untuk uji CBR persentase optimum terjadi pada campuran F60-B40 dengan nilai CBR 25,22% (0 hari) dan 42,96% (28 hari). Hasil uji UCS persentase optimum terjadi pada campuran F50-B50 dengan nilai 32,58 kPa (0 hari) dan 89,61 kPa (28 hari). Hasil uji Triaxial persentase optimum terjadi pada campuran F50-B50 dengan nilai sudut geser (ϕ°) 10,86° (0 hari) dan 41,40° (28 hari).

Stone Column

Stone Column merupakan kolom-kolom vertikal dari kerikil yang dipadatkan di dalam tanah. Kerikil tersebut merupakan kerikil lepas yang tidak diikat oleh bahan pengikat semen atau yang lainnya.

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan pada perencanaan *stone column* (Nurtjahjaningtyas & Maliki, 2009) :

1. Diameter *stone column* menentukan besarnya *area replacement ratio* dan besarnya distribusi tegangan pada tanah dan *stone column*.
2. Panjang dan jarak *stone column*.

3. *Area replacement ratio* adalah perbandingan antara luas penampang *stone column* dengan luas tanah lunak di sekelilingnya.
4. Konsentrasi tegangan.
5. Daya dukung *stone column* tunggal.
6. Daya dukung *stone column* grup.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknk Sipil Universitas Riau.

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 Muhandi (2016). Perbandingan campuran yang digunakan yaitu 40% *fly Ash* + 60% *bottom ash*.

Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk beberapa variasi dalam melakukan pengujian. Diameter yang dipakai yaitu 3 cm, 4 cm, dan 5,5 cm serta dengan variasi jarak dengan 1,25D, 1,5D, dan 1,75D. Panjang kolom yang digunakan adalah kolom dengan panjang 20 cm.

Tabel 3. Variasi Jarak dan Diameter

Diameter	Spasi
3 cm	1.25 D
	1.5 D
	1.75 D
4 m	1.25 D
	1.5 D
	1.75 D
5.5 cm	1.25 D
	1.5 D
	1.75 D

Persiapan Benda Uji

Tahapan pembuatan sampel kolom pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Mengukur dan memotong pipa PVC sesuai dengan kolom yang direncanakan dan kemudian pipa dibelah secara vertikal
2. Menghitung *fly ash* dan *bottom ash* yang diperlukan untuk membuat sampel kolom serta volume air yang dibutuhkan
3. Mengeringkan sampel abu batubara sampai kering total dalam oven
4. Memberi pelumas pada bagian dalam pipa dan kemudian pipa disatukan kembali menggunakan perekat lakban
5. Menimbang dan mencampurkan *fly ash* dan *bottom ash* sesuai perhitungan
6. Menambahkan air kedalam campuran yang telah diaduk rata dan aduk kembali sampai merata
7. Membagi sampel yang telah diaduk menjadi tiga bagian, kemudian sampel dimasukkan ke dalam pipa dan dipadatkan per lapisannya
8. Membuka kembali pipa dan sampel yang telah siap diperam selama satu hari.

Metode Uji Pembebanan

Pengujian ini dilakukan dalam bak uji dengan tahapan sebagai berikut.

1. Persiapan tanah gambut di dalam bak uji, tanah dalam kondisi jenuh dan tanah didiamkan selama satu hari
2. Melakukan uji *vane shear* pada tanah gambut sebelum kolom dimasukkan. Nilai *vane shear* dipastikan dalam keadaan tanah lunak
3. Kolom ditanam dengan pola segitiga dengan jarak sesuai variasi yang telah ditentukan
4. Meletakkan pelat diatas kolom yang telah ditanam
5. Mengatur alat *hydraulic jack* dan *dial gauge* diatas pelat
6. Memberikan pembebanan dengan *hydraulic jack* per 20 psi

7. Mencatat penurunan yang terjadi melalui *dial gauge*

Persiapan tanah gambut untuk pengujian dilakukan dengan memasukkan tanah ke dalam bak pengujian melalui tiga lapisan agar tanah yang diperoleh lebih seragam. Kolom yang dimasukkan dalam tanah adalah kolom dengan pelapis plastik yang berfungsi sebagai pelindung sampel kolom yang memiliki permeabilitas tinggi karena dengan kadar air yang tinggi dari tanah gambut akan membuat sampel kolom hancur ketika berinteraksi langsung dengan air.

Analisis Data

Data yang diambil dalam pengujian :

1. Data tanah seperti berat volume dan kuat geser tanah
2. Data kolom seperti diameter, spasi, kuat geser, dan modulus elastisitas
3. Data penurunan yang terjadi ketika dilakukan pembebanan.

Analisis data dilakukan dengan tahapan sebagai berikut

1. Data hasil pengujian berupa tekanan dan penurunan diplot ke dalam grafik kemudian dianalisis daya dukungnya menggunakan metode penurunan 20 mm
2. Menghitung daya dukung secara teoritis dengan metode yang disarankan oleh Barksdale & Bachus (1983). Analisis dilakukan dengan metode analisis tunggal dan analisis grup
3. Daya dukung maksimum dari pengujian dan analisis diplot kedalam grafik untuk melihat perbandingannya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik Tanah Gambut

Data gambut yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium dapat disimpulkan jenis gambut yang dipakai menurut klasifikasi *American Society for Testing and Material* (ASTM) D 4427-92 berdasarkan kadar serat yaitu 7,75% termasuk gambut

jenis *sapric* dan kadar abu 2,43% termasuk jenis gambut dengan jenis *low ash*.

Berikut hasil pengujian sifat fisik tanah gambut di laboratorium secara keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Uji Sifat Fisik 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

Pengujian *vane shear* dilakukan saat pengambilan sampel dilapangan dan pada saat dalam bak pengujian di laboratorium. Pengujian *vane shear* di lapangan bertujuan untuk mendapatkan kuat geser tanah gambut dalam keadaan asli dan juga sebagai acuan pada saat pengujian di laboratorium. Nilai kuat geser tanah gambut asli termasuk ke dalam tanah lunak karena nilai yang diperoleh kecil dari 20 kPa yaitu dengan nilai kuat geser rerata 7 kPa.

Kuat geser dalam bak pengujian diperoleh setiap akan melakukan pengujian sampel kolom. Nilai kuat geser rerata dalam bak pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut :

Tabel 5. Kuat Geser Rerata Dalam Bak

Pengujian ke-	Kuat Geser Rerata, Su (kPa)
1	1,27
2	0,8
3	1.16

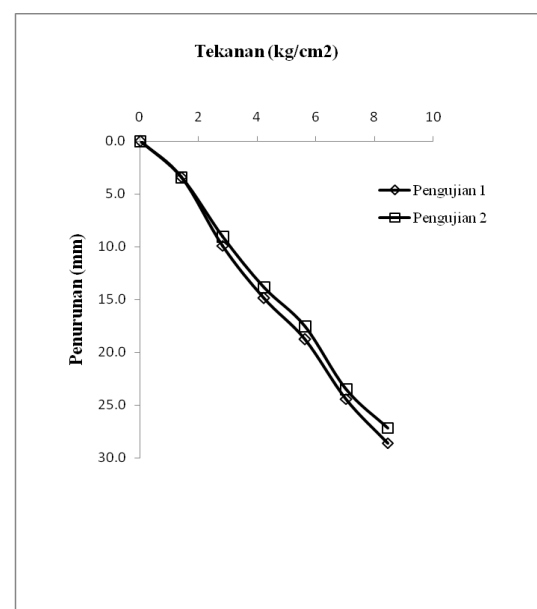
Daya Dukung Tanah Gambut Tanpa Perkuatan Kolom

Pengujian dilakukan dengan meletakkan pelat di atas tanah gambut asli, kemudian pelat diberi tekanan dari *hydraulic jack* tepat di tengah pelat dan

untuk ketelitian pembacaan penurunan yang terjadi digunakan dial yang diletakkan di atas pelat dengan ujung dial menyentuh pelat. Pemberian tekanan pada pelat dilakukan per 20 psi dan mencatat penurunan yang terjadi pada tanah gambut asli melalui dial yang disediakan. Berikut data tekanan dan penurunan yang terjadi terlihat pada **Tabel 6** dan **Gambar 1**.

Tabel 6. Data Penurunan Tanah Gambut Tanpa Kolom

Pengujian 1		Pengujian 2	
Penurunan (mm)	Beban (kg/cm ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/cm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
3,39	1,41	3,42	1,41
9,92	2,81	9,04	2,81
14,89	4,22	13,84	4,22
18,79	5,62	17,54	5,62
24,44	7,03	23,51	7,03
28,59	8,44	27,16	8,44



Gambar 1. Grafik Tekanan vs Penurunan Tanah Gambut Tanpa Kolom

Dari metode penurunan 20 mm diperoleh daya dukung rerata tanah gambut tanpa perkuatan kolom sebesar 6,09 kg/cm².

Daya Dukung Tanah Gambut Dengan Kolom

Daya dukung dengan tanah gambut asli yang distabilisasi kolom akan ditinjau dari dua perhitungan yaitu melalui perhitungan metode penurunan 20 mm dari data yang diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan teoritis.

a. Daya Dukung Dengan Metode Penurunan 20 mm

Di bawah merupakan data penurunan dan beban hasil pengujian dari tanah gambut dengan perkuatan kolom berdasarkan diameter dan spasi kolom.

Tabel 7. Data Penurunan Diameter 3 cm

Diameter 3 cm					
Spasi					
1.25 D		1.5 D		1.75 D	
Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,40	1,41	3,43	1,41	3,47	1,41
6,80	2,81	7,46	2,81	8,02	2,81
10,60	4,22	11,46	4,22	12,47	4,22
13,55	5,62	14,86	5,62	15,62	5,62
15,90	7,03	17,04	7,03	18,87	7,03
20,32	8,44	21,29	8,44	23,72	8,44
24,60	9,84	25,55	9,84	28,77	9,84

Tabel 8. Data Penurunan Diameter 4 cm

Diameter 4 cm					
Spasi					
1.25 D		1.5 D		1.75 D	
Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,48	1,41	3,07	1,41	3,22	1,41
5,13	2,81	6,30	2,81	7,47	2,81
8,33	4,22	10,40	4,22	11,44	4,22

Diameter 4 cm					
Spasi					
1.25 D		1.5 D		1.75 D	
Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)
12,18	5,62	13,28	5,62	14,61	5,62
14,44	7,03	16,75	7,03	17,66	7,03
18,29	8,44	19,75	8,44	22,26	8,44
22,21	9,84	23,25	9,84	27,31	9,84

Tabel 9. Data Penurunan Diameter 5,5 cm

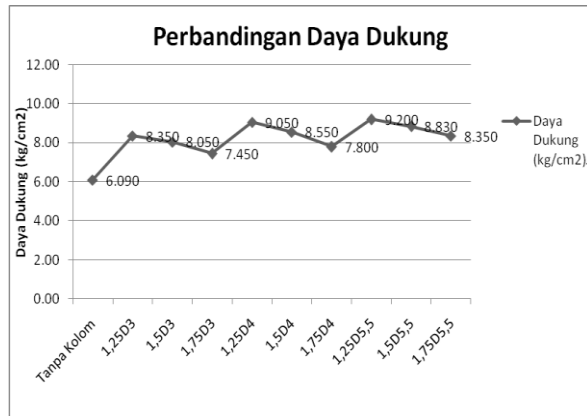
Diameter 5.5 cm					
Spasi					
1.25 D		1.5 D		1.75 D	
Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)	Penurunan (mm)	Beban (kg/c m ²)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,81	1,41	2,16	1,41	2,21	1,41
5,41	2,81	5,61	2,81	6,02	2,81
8,92	4,22	9,20	4,22	9,73	4,22
12,67	5,62	12,22	5,62	13,71	5,62
15,06	7,03	15,06	7,03	16,09	7,03
18,27	8,44	18,88	8,44	20,30	8,44
21,71	9,84	23,00	9,84	24,50	9,84

Data yang telah diperoleh kemudian diplot ke dalam grafik tekanan vs penurunan dan diinterpretasi dengan metode penurunan 20 mm.

Tabel 10 dan Gambar 2 adalah daya dukung yang diperoleh dari hasil pengujian serta persentase peningkatan daya dukungnya.

Tabel 10. Peningkatan Daya Dukung Setelah Perkuatan Kolom

Variasi Sampel	Daya Dukung (kg/cm ²)	peningkatan daya dukung (%)
Tanpa Kolom	6,09	0,00
1,25D3	8,35	37,11
1,5D3	8,05	32,18
1,75D3	7,45	22,33
1,25D4	9,05	48,60
1,5D4	8,55	40,39
1,75D4	7,80	28,08
1,25D5,5	9,20	51,07
1,5D5,5	8,83	44,99
1,75D5,5	8,35	37,11



Gambar 2. Grafik Peningkatan Daya Dukung Setelah Perkuatan

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh daya dukung maksimum terjadi pada diameter 5,5 cm dan spasi 1,25D dengan nilai daya dukung 9,20 kg/cm² dan persentase peningkatannya sebesar 51,07%.

Daya Dukung Dengan Perhitungan Teoritis

Perhitungan daya dukung teoritis dilakukan dengan analisis tiang tunggal dan analisis sebagai grup tiang.

a. Daya Dukung Dengan Analisis Tiang 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.

Berikut adalah rekapitulasi dari perhitungan daya dukung dengan analisis tiang tunggal dalam satu buah kolom dan dalam keadaan grup.

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Analisis Tiang Tunggal

Diameter	Spasi	q _{ult} (kg/cm ²)	q _{ult grup} (kg/cm ²)
3 cm	1.25 D	0.142	0.427
	1.5 D	0.142	0.427
	1.75 D	0.142	0.427
4 cm	1.25 D	0.087	0.260
	1.5 D	0.087	0.260
	1.75 D	0.087	0.260
5,5 cm	1.25 D	0.129	0.387
	1.5 D	0.129	0.387
	1.75 D	0.129	0.387

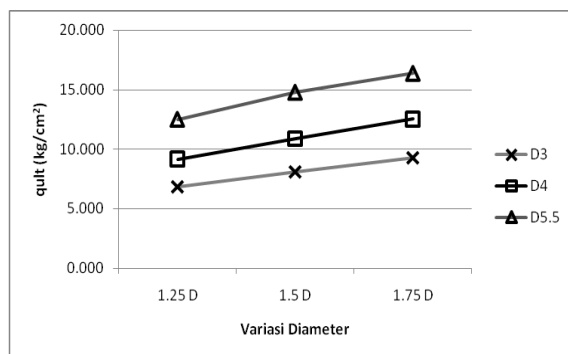
Terlihat pada **Tabel 11** bahwa daya dukung maksimum terjadi pada kolom dengan diameter 3 cm. Hal ini karena pada perhitungan analisis tunggal nilai kuat geser tanah menjadi faktor yang sangat berpengaruh dalam perhitungan. Nilai daya dukung memiliki nilai yang tetap pada diameter yang sama tetapi dengan spasi berbeda disebabkan perhitungan hanya meninjau kolom dalam satu unit sel dan mengalikan dengan jumlah kolom untuk daya dukung tiang grupnya

b. Daya Dukung Dengan Analisis Tiang Grup

Daya dukung dengan analisis tiang grup melihat daya dukung kolom secara keseluruhan sebagai satu kesatuan. Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan daya dukung dengan analisis tiang grup.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Analisis Tiang Grup

Diameter	Spasi	q_{ult} (kg/cm ²)
3 cm	1.25 D	6.83
	1.5 D	8.06
	1.75 D	9.26
4 m	1.25 D	9.15
	1.5 D	10.86
	1.75 D	12.52
5.5 cm	1.25 D	12.51
	1.5 D	14.78
	1.75 D	16.38



Gambar 3. Grafik Daya Dukung Analisis Tiang Grup

Berdasarkan perhitungan daya dukung dengan analisis tiang grup terlihat bahwa semakin besar diameter dan semakin besar spasi maka akan semakin meningkat nilai daya dukung yang diperoleh. Nilai daya dukung maksimum terjadi pada diameter 5,5 cm dan spasi 1,75D dengan nilai 16,38 kg/cm².

Perbandingan Daya Dukung Pengujian Dan Analisis

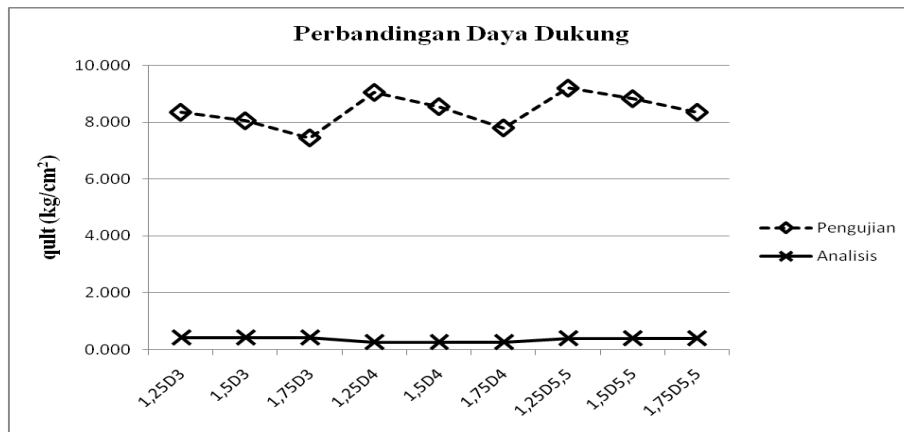
Perbandingan daya dukung pengujian dan analisis dapat dilihat dalam tabel dan gambar berikut.

Dari tabel dan garfik di bawah dapat dilihat perbandingan daya dukung pengujian dan analisis tunggal memiliki perbedaan data yang cukup jauh. Hal ini karena faktor yang mempengaruhi untuk perhitungan analisis hanya nilai kuat geser tanah (c) sedangkan pada pengujian yang dilakukan, kuat geser yang diperoleh sangat kecil. Selain disebabkan oleh nilai kuat geser yang sangat kecil perbedaan daya dukung yang jauh juga disebabkan karena kolom yang digunakan sudah dalam skala laboratorium sementara kuat geser tanah di pengujian sama dengan kuat geser di lapangan sehingga menyebabkan tanah yang memiliki daya dukung lemah saat pengujian kolom dengan ukuran sebenarnya di lapangan menjadi lebih kuat saat pengujian dengan kolom yang sudah dalam skala laboratorium.

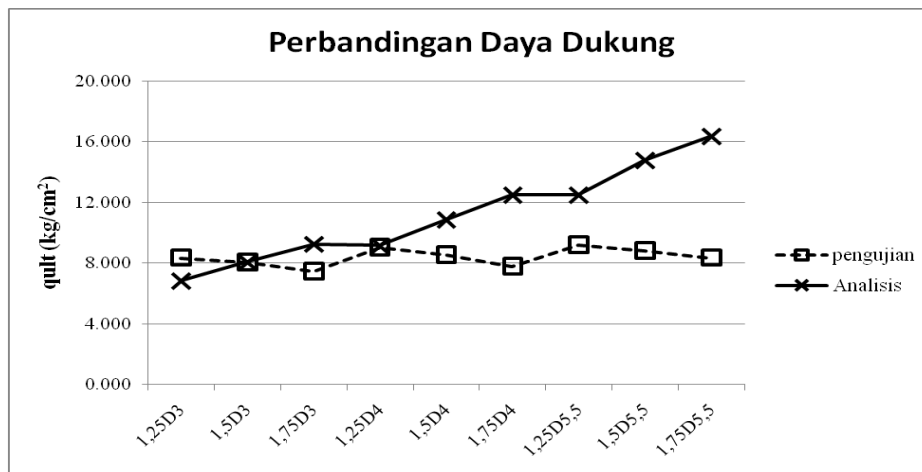
Sedangkan untuk perbandingan daya dukung pengujian dan analisis grup memiliki data yang mendekati sama karena parameter yang digunakan pada perhitungan teoritis sudah mencakup dari data tanah dan kolom yang membuat nilai yang diperoleh lebih akurat. Nilai daya dukung teoritis menghasilkan data yang cenderung meningkat setiap semakin besar diameter dan spasinya, hal itu karena dalam perhitungan teoritis grup besarnya pelat yang digunakan pada variasi sangat berpengaruh terhadap daya dukung. Perhitungan analisis tiang grup selain meninjau kekuatan kolom juga meninjau tanah yang ada di sekitar kolom tersebut, hal ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan yaitu ketika pelat yang diberi beban akan diteruskan ke kolom dan tanah yang ada di sekitar kolom sehingga asumsi tanah yang terbebani adalah sama.

Tabel 13. Perbandingan Daya Dukung Pengujian Dan Analisis

Diameter	Spasi	q _{ult} penurunan 20mm (kg/cm ²)	q _{ult} grup analisis tunggal (kg/cm ²)	q _{ult} grup analisis grup tiang (kg/cm ²)
3 cm	1,25 D	8,35	0,43	6,83
	1,5 D	8,05	0,43	8,06
	1,75 D	7,45	0,43	9,26
4 cm	1,25 D	9,05	0,26	9,15
	1,5 D	8,55	0,26	10,86
	1,75 D	7,80	0,26	12,52
5.5 cm	1,25 D	9,20	0,39	12,51
	1,5 D	8,83	0,39	14,78
	1,75 D	8,35	0,39	16,38



Gambar 4. Perbandingan Daya Dukung Pengujian Dan Analisis Tiang Tunggal



Gambar 5. Perbandingan Daya Dukung Pengujian Dan Analisis Tiang Grup

V. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengujian, semakin besar diameter dan semakin kecil spasi antar kolom maka daya dukung tanah akan semakin besar.
2. Daya dukung paling besar yang dilakukan dalam pengujian yaitu variasi diameter 5,5 cm dan spasi 1,25D dengan nilai daya dukung 9,20 kg/cm².
3. Daya dukung maksimum dari perhitungan teoritis analisis tiang tunggal adalah kolom dengan diameter 3 cm yaitu sebesar 0,43 kg/cm². Sedangkan untuk analisis tiang grup daya dukung maksimum terjadi pada

variasi diameter 5,5 cm dengan spasi 1,75D yaitu sebesar 16,38 kg/cm².

4. Perbedaan yang jauh antara analisis tiang tunggal dan grup disebabkan oleh luas tanah yang berpengaruh dan kuat geser tanah dan kolom yang digunakan dalam perhitungan.
5. Hasil pengujian analisis tiang grup lebih mendekati hasil pengujian sehingga untuk mendapatkan hasil teoritis yang akurat, analisis tiang grup dapat menjadi acuan pada perhitungan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

ASTM C 618-03. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined

- Natural Pozzolan for Use in Concrete, Pub. L. No. C 618, 1 (2003).
- ASTM D 4427-92. Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing, Pub. L. No. D 4427, 1 (2002).
- Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983a). *Design and Construction of Stone Columns Vol. I.*
- Barksdale, R. D., & Bachus, R. C. (1983b). *Design and Construction of Stone Columns Vol. II.* <https://doi.org/FHWA/RD-83/027>
- Dariah, A., Maftuah, E., & Maswar. (n.d.). Karakteristik Lahan Gambut. *Balai Penelitian Tanah, Bogor.*
- Iskandar, F. F., & Hamdhan, I. N. (2016). Pemodelan Numerik Pada Perbaikan Tanah Menggunakan Stone Column Di Tanah Lempung Lunak Di Bawah Tanah Timbunan. *Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.*
- Kim, B., Prezzi, M., & Salgado, R. (2005). Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(7), 914–924. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:7\(914\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:7(914))
- Lee, F. . (2009). Morphology, Mineralogy and Engineering Characteristics of Tanjung Bin Bottom Ash. *Universiti Teknologi Malaysia: Malaysia.*
- Muhardi. (2011). Pulverized Fuel Ash as Structural Fill for Embankment Construction. *University Teknologi Malaysia.*
- Muhardi. (2016). Karakteristik Abu Terbang dan Abu Dasar Dalam Geoteknik. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian*, 8(2), 18–27.
- Muhardi, A. M., K.A. K., Makhtar, A. M., Wei, L. ., & Lim, Y. . (2010). Engineering Characteristics of Tanjung Bin Coal Ash. *Ejge*, 15 bund.
- 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.
- Muhardi, Suryanita, R., & Alsaidi. (2007). Perbaikan Karakteristik Batu Bata Lempung dengan Penambahan Abu Terbang. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 165–179.
- Mulyani, A., Susanti, E., Dariah, A., Maswar, Wahyunto, & Agus, F. (n.d.). Basisdata Karakteristik Tanah Gambut Di Indonesia. *Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.*
- Nugroho, U. (2008). Stabilisasi Tanah Gambut Rawapening Dengan Menggunakan Campuran Portland Cement Dan Gypsum Sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Ditinjau Dari Nilai California Bearing Ratio (CBR). *Universitas Negeri Semarang.*
- 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.
- Pemerintah Republik Indonesia. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Pub. L. No. 101, 342 (2014).
- 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.*
- Usman, A. (2014). Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Gambut Menggunakan Kombinasi Perkuatan Anyaman Bambu Dan Grid Bambu Dengan Variasi Lebar Dan Jumlah Lapisan Perkuatan. *Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya.*
- Waller. (1993). Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description 2000.
- Wardani, S. P. R. (2008). *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk*

Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan.
Semarang.

Zacoeb, A., Dewi, S. M., & Jamaran, I. (2013). Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Pengganti Semen Pada Genteng Beton Ditinjau Dari Segi Kuat Lentur Dan Perembesan Air. *Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya*, 81–87.