

PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODA KOLOM DARI CAMPURAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH

Angraini Ekawati⁽¹⁾, Muhardi⁽²⁾ & Ferry Fatnanta⁽³⁾

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

Email: anggainieka@yahoo.com

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

Email: muhardi@eng.unri.ac.id

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

Email: fatnanto1964@gmail.com

ABSTRAK:

Posisi Propinsi Riau yang berada di daerah pesisir dan dataran rendah menyebabkan sebagian besar daerahnya mempunyai tanah dasar yang lunak. Agar konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak tidak terjadi kerusakan dini atau penurunan pada struktur, perlu dilakukan perbaikan untuk meningkatkan daya dukung dari tanah tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah fly ash dan bottom ash yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar batubara untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak. Fly ash dan bottom ash tersebut dicampur dengan perbandingan F40-B60, lalu dijadikan kolom-kolom dengan tinggi 20 Cm. Kolom-kolom tersebut ditanam pada tanah gambut dengan menggunakan diameter 3 Cm, 4 Cm dan 5,5 Cm. Jarak antar kolom (spasi) yang divariasikan adalah 1,25D; 1,5D dan 1,75D dengan pola segitiga dan segiempat. Beban statis diberikan secara bertahap.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada penggunaan pola segitiga maupun segiempat, kolom berdiameter 5,5 Cm dengan spasi 1,25D mempunyai daya dukung yang lebih besar dari variasi lainnya. Sementara itu, daya dukung tanah yang diperkuat dengan kolom berpola segitiga lebih kecil dibandingkan dengan pola segiempat. Peningkatan daya dukung yang terjadi pada perkuatan dengan pola segitiga mencapai 49,34% dan 75,5% pada pola segiempat terhadap daya dukung gambut tanpa perkuatan.

Kata kunci : fly ash, bottom ash, kolom, pola segitiga, pola segiempat, daya dukung

1. PENDAHULUAN

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 penumpukan 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, 2011)

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 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.

Karena hasil dari beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan abu batu bara pada lereng dapat mengurangi penurunan, maka penelitian ini mencoba untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan membuat kolom-kolom dari limbah tersebut.

Penelitian ini meneliti tentang pengaruh kolom dengan campuran *fly ash* dan *bottom ash* terhadap penurunan beban di atas tanah lunak. Penelitian ini menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* dari PT. IKPP Perawang Kabupaten Siak, dan tanah lunak yang diteliti adalah tanah gambut dari Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah gambut (*peat*) termasuk tanah organik, secara visual terlihat sebagai massa berserat mengandung kayu, biasanya berwarna gelap dan berbau tumbuhan yang membusuk.. Tanah ini mengandung bahan organik yang tinggi mempunyai kuat geser yang rendah, mudah mampat dan bersifat asam yang dapat merusak material bangunan. Meskipun demikian, dengan berbagai alasan dan pertimbangan pekerjaan konstruksi diatas endapan gambut sering terpaksa dilakukan, terutama untuk pembangunan daerah pemukiman dan jalur jalan raya seperti yang ada di daerah Sumatera, Kalimantan dan Papua (Teguh Nugroho dan Budi Mulyanto, 2003).

Fly Ash Batubara

Produksi batubara pada tahun 2010 diperkirakan sekitar 153 juta ton, 108 juta ton dipakai di dalam negeri sedangkan 45 juta ton merupakan jumlah yang diekspor. Pembakaran batubara menghasilkan limbah padat berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*) sekitar 5%. Dari total abu yang dihasilkan 10 – 20 % adalah *bottom ash* dan 80 – 90 % adalah *fly ash*. (Wardani, 2008).

Karakteristik fisis dari abu terbang umumnya tergantung pada efisiensi proses penggilingan pada tempat pengolahan dan jenis asal sumber dari batu bara, baik yang berasal dari jenis batu bara keras gelap (*anthracite*), *sub-bituminous*, aspal (*bituminous*) dan batu bara muda (*lignite*) (Muhardi et al, 2007). Abu terbang mempunyai bentuk yang sangat unik, dikarenakan bentuknya sebagian besar berbentuk

bulat, butirannya sifatnya berpori (porous) dan berwarna hitam (HS dan Sutopo, 1994).

Abu terbang terdiri dari partikel berbutir halus yang sebagian besar berbentuk bola padat maupun cekung, dan kebanyakan seperti kaca tak berbentuk. Material yang mengandung karbon di dalam abu terbang pada umumnya terdiri dari partikel bersudut. Ukuran partikel abu terbang dari batu bara bituminus biasanya serupa dengan sliab (kurang dari 0.075 mm atau lolos ayakan no. 200) (Faroq, 2005).

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5 – 27 % dengan *specific gravity* antara 2,15 – 2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Abu batubara mengandung silika dan alumina sekitar 80 % dengan sebagian silika berbentuk amorf. Sifat-sifat fisik abu batubara antara lain densitasnya 2,23 gr/cm³, kadar air sekitar 4 % dan komposisi mineral yang dominan adalah α -kuarsa dan mullite. Selain itu abu batubara mengandung SiO₂ = 58,75 %, Al₂O₃ = 25,82 %, Fe₂O₃ = 5,30 % CaO = 4,66 %, alkali = 1,36 %, MgO = 3,30 % dan bahan lainnya = 0,81 %.

Rifai *et al* (2009) juga melakukan penelitian terhadap abu dasar yang berasal dari Industri Kimia di Jakarta untuk diaplikasikan sebagai stabilisasi tanah pada aplikasi jalan.

Abu terbang mempunyai mutu yang sangat berbeda satu dengan lainnya, tergantung dari sumber batubara mana yang dipergunakan, efisiensi dari pulverisasi, suhu pembakaran yang tergantung dari macam tungku yang dipakai untuk pembakaran batubara, serta cara pengendapan abu dari gas pembakaran. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batu bara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan (Munir, 2008).

Menurut ASTM C618, *fly ash* dibagi menjadi 2 kelas yaitu *fly ash* kelas F (CaO < 10%) dan *fly ash* kelas C (CaO > 10%). Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya unsur kalsium, silika, aluminium, dan kadar besi dalam *fly ash*. Hampir semua abu terbang yang digunakan untuk *embankment* adalah abu terbang kelas F (Wardani, 2008).

Abu Terbang dari PT. IKPP Perawang secara visual berbutir halus, ringan dan warnanya lebih terang serta memiliki butiran yang lebih bundar.

Bottom Ash Batubara

Abu bawah biasanya disebut juga abu dasar (*bottom ash*) terbentuk pada zona pembakaran dengan kecepatan alir gas rendah dan/atau zona unggun tetap batubara, misalnya pada bagian dasar tungku *pulverized-coal* atau pada tungku tipe pembakaran unggun tetap. *Bottom ash* memiliki warna yang lebih gelap karena masih mengandung karbon yang tidak terbakar, ukuran partikelnya relatif kasar, lebih berat, geometri partikel yang tidak beraturan, dan dengan permukaan yang kasar. Komposisi kimia dari abu dasar sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia lainnya.

Pemanfaatan abu bawah yang telah banyak diterapkan adalah sebagai komponen agregat perkerasan jalan dan maupun sebagai bahan konstruksi sipil lainnya. Izquierdo et.al. (2001) mendeskripsikan kesesuaian penggunaan abu bawah dari insinerator sampah kota sebagai bahan pembuatan lapisan dasar konstruksi perkerasan jalan.

Abu dasar PT.IKPP Perawang secara visual tampak berbutir kasar, warna gelap.

Campuran Fly Ash dan Bottom Ash

Abu terbang dan abu dasar atau campuran keduanya dapat efektif digunakan untuk bahan timbunan (*embankment*) atau bahan perkuatan. Abu terbang mempunyai koefisien keseragaman yang besar, terdiri dari partikel ukuran lanau. Sifat-sifat teknik yang akan mempengaruhi penggunaan abu terbang pada *embankment* adalah termasuk distribusi butiran, karakteristik pemadatan, *shear strength*, *compressibility* dan *permeability*.

Adanya kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) pada fly ash dan bottom ash, maka jika dicampurkan dengan tanah dan tambahan air akan bereaksi secara pozzolanic dan menghasilkan reaksi hidrasi. Reaksi ini lah yang mengakibatkan adanya pengikatan antara fly ash dan bottom ash dengan tanah. Akibat dari pengikatan ini stabilisasi fly ash dan bottom ash dengan tanah akan meningkatkan kekuatan pada tanah.

Fly ash/bottom ash yang dihasilkan oleh *fluidized bed system* berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/inch²). Ukuran ini relative kecil dan ringan, sedangkan bottom ash berukuran 20-50 mesh. Secara umum ukuran fly ash/bottom ash dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan *trass* dengan memasukkannya pada *cement*

mill menggunakan udara tekan (*pneumatic system*). Disamping dimanfaatkan di industri semen, fly/bottom ash dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran asphalt (*ready mix*), campuran beton (*concrete*) dan dicetak menjadi paving block/batako. Dari suatu penelitian empiric untuk campuran batako.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan campuran fly ash dan bottom ash diantaranya telah dilakukan oleh Lola Cassiopea dengan judul Pemanfaatan bahan limbah coal ash untuk lapisan subbase dengan agregat keausan tinggi pada penulisan tesis S2 nya di UGM pada tahun 2010. Pada penelitian tersebut penulis menggunakan campuran fly ash 10% dan bottom ash 25% pada campuran Sub Base.

Nurul Aini Yakin (Puslitbang Perim PU) juga pernah menulis jurnal tahun 2013 tentang penggunaan fly ash (20%) dan bottom ash (60%) pada pembuatan beton bata berlubang.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat mekanis tanah gambut berupa kuat geser. Dan Pengujian sifat fisis, meliputi berat jenis, kadar air, berat volume, angka pori, kadar serat, kadar abu dan kadar organik.

Untuk *fly ash* dan *bottom ash* pada penelitian sebelumnya sudah diuji berupa : analisa saringan, berat jenis, CBR rendaman, geser langsung, konsolidasi, *falling head test*, permeabilitas, *proctor test*, triaksial, dan *UCS test*.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Pengujian dilakukan dengan skala kecil (*mini scale*), dengan ukuran bak uji 1,5 m x 1,0 m x 0,5 m.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain;

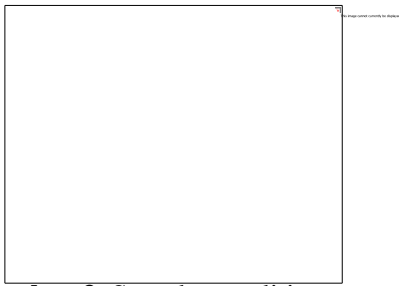
Tanah lunak berupa tanah gambut yang diambil dari Rimbo Panjang Kampar, Riau.

Fly ash dan *Bottom ash* dari PT. IKPP Perawang, Kabupaten Siak.

Benda Uji

Benda uji berupa kolom dari campuran *fly ash* dan *bottom ash* dengan ukuran diameter 3 cm, 4 cm dan 5,5 cm dengan panjang untuk tiap diameter adalah 20 cm. Pemadatan kolom dilakukan berdasarkan dengan uji *proctor* yang sebelumnya sudah diuji coba.

Pembuatan benda uji ini dilakukan sesuai dengan dimensi model skala 1 : 10. Setiap benda uji hanya dipakai untuk satu kali pengujian.



Gambar 3. Sample penelitian

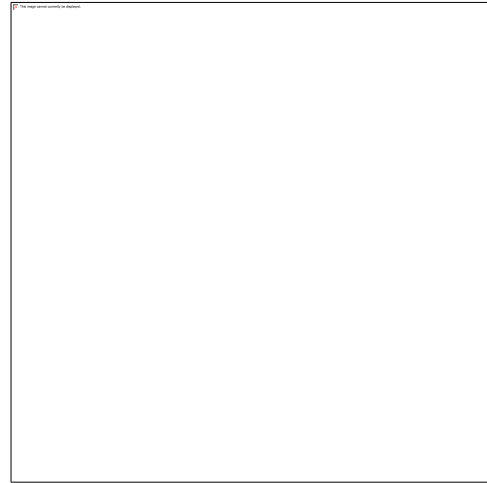
Variasi diameter dan spasi sampel dapat dilihat di Tabel 3.1. Kode D3 - S1,25D diartikan Kolom dengan diameter 3 Cm dan spasinya 1,25D.

Tabel 1. Variasi dan Penamaan Sampel

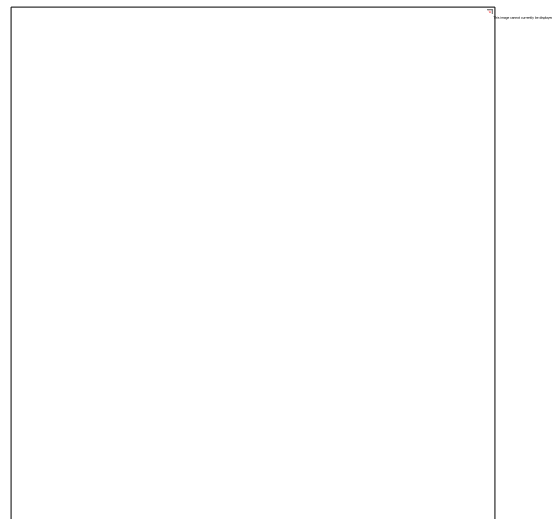
Kolom –kolom tersebut seluruh permukaannya dibungkus plastik agar tidak terkontaminasi dengan air gambut. Karena jika tercampur dengan air maka kekuatan dari kolom akan terganggu. Kolom ditanamkan seluruhnya ke dalam gambut sampai rata dengan permukaan tanah gambut. Aplikasi kolom di lapangan nanti plastik dapat diganti dengan geotekstil jenis geomembran yang kedap air.

Pelat sesuai dengan pola susunan kolom diletakkan pada permukaan tanah gambut dengan posisi diatas kolom-kolom yang sudah disusun. Plat kemudian diberi beban dengan menggunakan alat dongkrak hidrolis (*hydraulic jack*). Dial indikator

(*dial gauge*) di letakkan pada posisi diatas pelat untuk membaca penurunan kolom. Selama pengujian, beban ditambahkan secara perlahan-lahan sambil membaca pergerakan dial ukur, mengamati besar penurunan. Sehingga diperoleh data hubungan beban dan penurunan.



Gambar 4. Pembebanan dan penurunan dengan pola segitiga



Gambar 5. Pembebanan dan penurunan dengan pola segiempat

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Propertis gambut berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 Berikut :

Tabel 2. Properties Abu Batu Bara

Tabel 3. Klasifikasi Gambut Menurut Kadar Serat dan Kadar Abu

Berdasarkan Tabel 3. di atas, kadar serat gambut 7,75 % masuk dalam klasifikasi gambut jenis Saprik (<33 %) dan kadar abu 2,43 % termasuk jenis gambut dengan kadar abu rendah.

Berdasarkan klasifikasi dari MacFarlane dan Radforth (1965) yang membedakan tanah gambut menjadi 2 (dua) kelompok menurut serat yang terkandung yaitu : kandungan serat $\geq 20\%$ dinamakan *Fibrous Peat* (Gambut Berserat), sedang tanah gambut dengan kandungan serat $< 20\%$ dinamakan *Amorphous Granular Peat* (Gambut Tidak Berserat), maka jenis gambut yang digunakan dalam pengujian ini termasuk jenis *Amorphous Garanular Peat*.

Propertis dari *fly ash* dan *bottom ash* yang sudah diuji sebelumnya oleh Ridwan (2014) , dirangkumkan pada table 4 berikut

Tabel 4. Properties Abu Batu Bara

Tabel 5. Hasil Pengujian Triaxial

KODE	Sudut geser, ϕ°	
	0 Hari	28 Hari
F90-B10	6,10	15,75
F80-B20	6,26	27,79
F70-B30	6,49	36,73
F60-B40	4,62	38,66
F50-B50	10,86	41,40
F40-B60	6,52	44,15
F30-B70	6,60	22,55
F20-B80	9,36	13,69
F10-B90	8,20	9,22

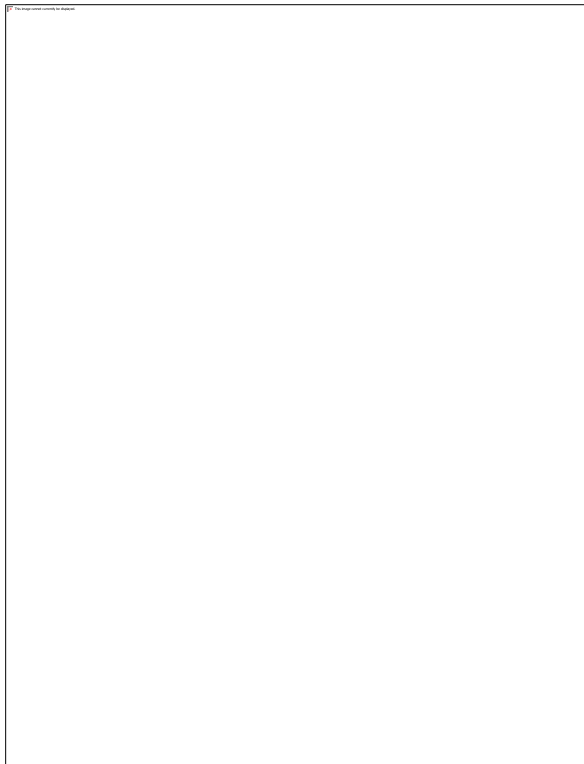
Berdasarkan tabel diatas nilai maksimum ϕ terdapat pada variasi F40-B60 dengan nilai ϕ yakni $6,52^\circ$ untuk 0 hari pemeraman dan mengalami peningkatan menjadi $44,15^\circ$ untuk masa pemeraman 28 hari.

Hasil Uji Pembebanan tanpa Perkuatan Pembebanan yang diberikan secara bertahap pada gambut yang tidak diperkuat oleh kolom dapat dilihat pada tabel 4.5. Berikut :

Tabel 6. Pembebanan tanpa Perkuatan

Dari tabel 6. Dapat dilihat pada pengujian pertama hanya dengan memberikan beban sampai 7,0

Kg/Cm² plat sudah mengalami penunuan lebih dari 2 Cm (24,,46 mm). Dan pada pengujian kedua untuk beban yang sama plat turun 23,5 mm. Penurunannya dapat dilihat pada gambar 6:

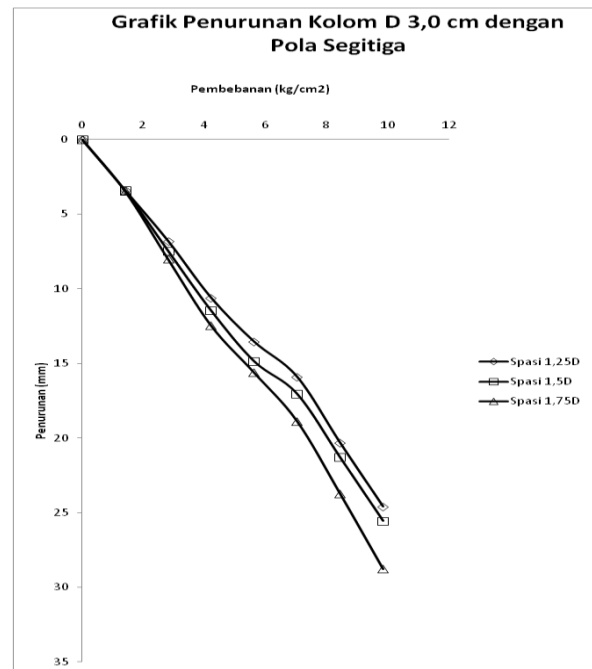
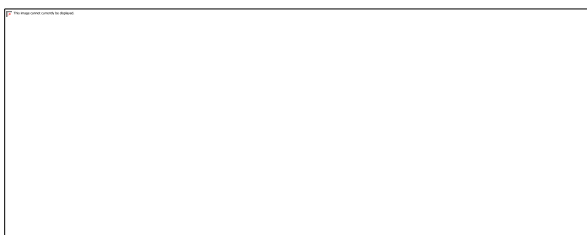


Gambar 6. Penurunan tanpa perkuatan

Hasil Uji Pembebanan dengan Perkuatan Kolom Memakai Pola Segitiga

Kolom disusun membentuk segitiga sama sisi dengan memvariasikan diameternya 3cm, 4 cm dan 5,5, cm. Spasi yang digunakan pada tiap diameter adalah 1,25 D ; 1,5D dan 1,75 D.

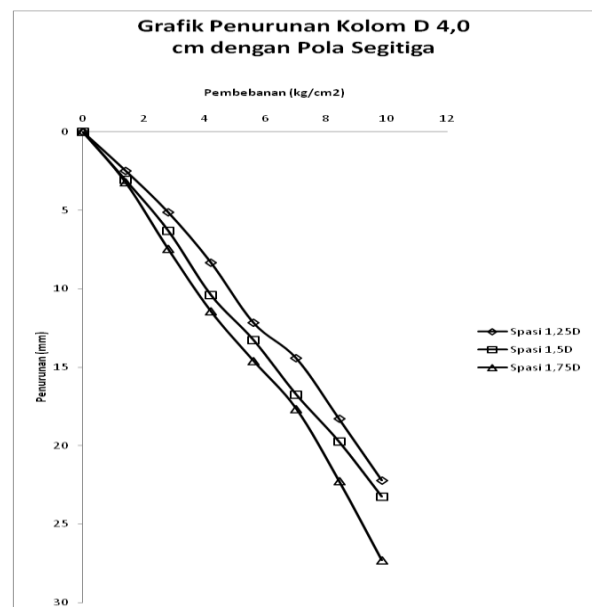
Tabel 7. Penurunan kolom diameter 3,0 Cm



Gambar 7. Penurunan pada kolom D 3,0 Cm

Tabel 8. Penurunan kolom Dr 4,0 Cm

Beban (Kg/cm ²)		0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8
Penurunan (mm)	Spasi 1,25D	0	2,5	5,1	8,3	12,2	14,4	18,3	22,2
	Spasi 1,5D	0	3,1	6,3	10,4	13,3	16,8	19,8	23,3
	Spasi 1,75D	0	3,2	7,5	11,4	14,6	17,7	22,3	27,3

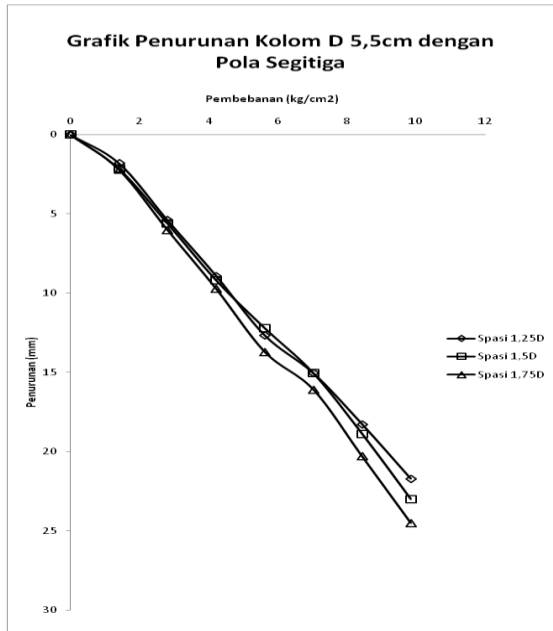


Gam

bar 8. Penurunan pada kolom D 4,0 Cm

Tabel 9. Penurunan kolom D 5,5 Cm

Beban (Kg/cm ²)		0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8
Penurunan (mm)	Spasi 1,25D	0	1,8	5,4	8,9	12,7	15,1	18,3	21,7
	Spasi 1,5D	0	2,2	5,6	9,2	12,2	15,1	18,9	23,0
	Spasi 1,75D	0	2,2	6,0	9,7	13,7	16,1	20,3	24,5



Gambar 9. Penurunan pada kolom D 5,5 Cm

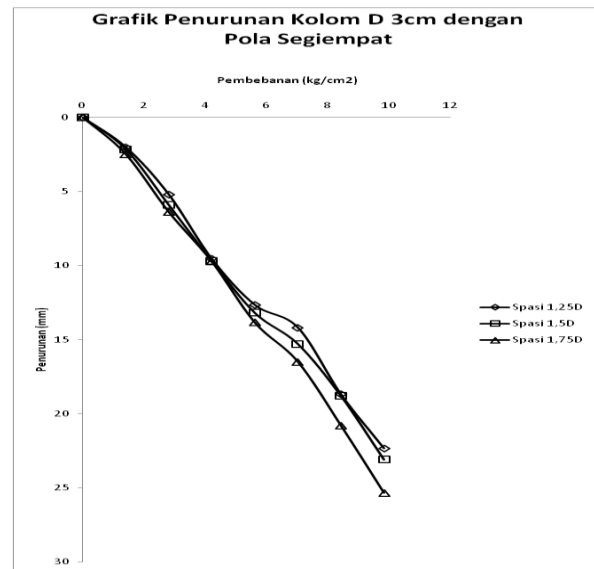
Dari table dan grafik di atas terlihat kolom dengan diameter 5,5 cm yang ditanam dengan jarak antar kolom 1,25D mengalami penurunan yang terkecil.

Hasil Uji Pembebanan dengan Perkuatan Kolom Memakai Pola Segiempat

Kolom disusun membentuk segiempat, variasi diameter dan spasinya sama dengan pola segitiga yaitu 3cm, 4 cm dan 5,5, cm. Spasi yang digunakan pada tiap diameter adalah 1,25 D ; 1,5D dan 1,75 D.

Tabel 10. Penurunan kolom D 3,0 Cm

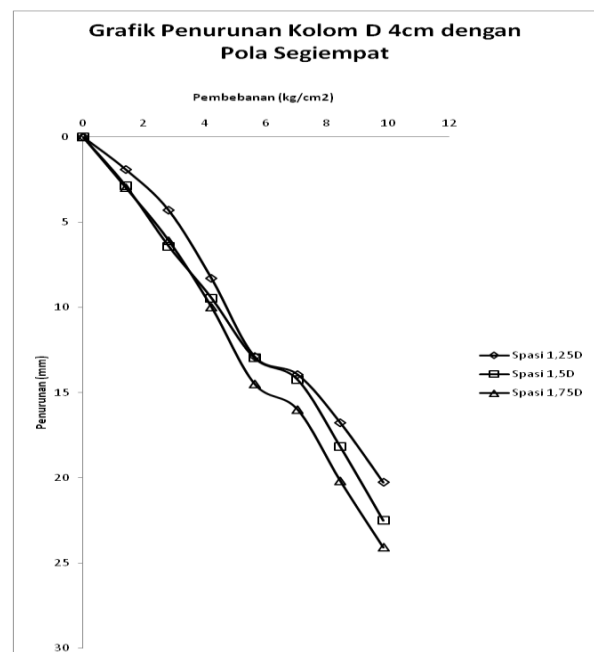
Beban (Kg/cm ²)		0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8
Penurunan (mm)	Spasi 1,25D	0	2,0	5,2	9,6	12,7	14,2	18,7	22,3
	Spasi 1,5D	0	2,2	5,9	9,7	13,2	15,3	18,8	23,1
	Spasi 1,75D	0	2,5	6,4	9,7	13,9	16,5	20,8	25,4



Gambar 10. Penurunan pada kolom D 3 Cm

Tabel 11. Penurunan kolom D 4,0 Cm

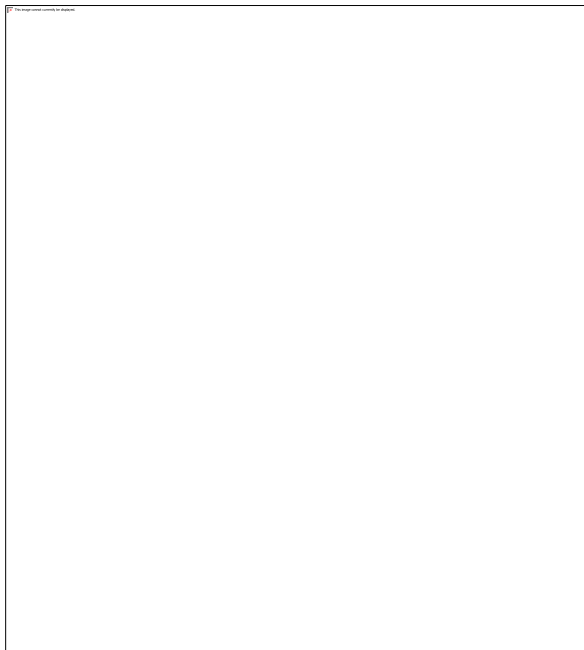
Beban (Kg/cm ²)		0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8
Penurunan (mm)	Spasi 1,25D	0	1,9	4,3	8,3	12,9	13,9	16,8	20,3
	Spasi 1,5D	0	2,9	6,4	9,5	13,0	14,2	18,2	22,5
	Spasi 1,75D	0	3,0	6,1	10,0	14,5	16,0	20,2	24,1



Gambar 11. Penurunan pada kolom D 4 Cm

Tabel 12. Penurunan kolom D 5,5 Cm

Beban (Kg/cm ²)		0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	11,2
Penurunan (mm)	Spasi 1,25D	0	1,4	4,6	8,2	11,5	12,4	14,9	17,9	21,8
	Spasi 1,5D	0	1,7	4,8	8,3	11,8	13,3	16,5	19,6	23,0
	Spasi 1,75D	0	2,7	6,0	9,4	13,3	14,6	17,7	20,9	24,8



Gambar 12. Penurunan pada kolom D 5,5 Cm

Sama halnya dengan pola segitiga, dari table dan grafik di atas terlihat kolom dengan diameter 5,5 cm yang ditanam dengan jarak antar kolom 1,25D mengalami penurunan yang terkecil.

Penurunan yang terjadi pada pola segiempat lebih kecil daripada pola segitiga. Pola segitiga telah mencapai penurunan 20 mm pada pembebanan 9,84 Kg/Cm², sedangkan untuk pola segiempat penurunan 20 mm diperoleh setelah menambah beban hingga 11,2 Kg/cm².

Analisa Daya Dukung Ultimate

Dari hasil pengujian kolom akan didapatkan kurva berupa beban vs penurunan. Untuk menganalisa daya dukung *ultimate* pada penelitian ini menggunakan metode *tangent intersection* dan membandingkan dengan nilai daya dukung pada penurunan 20 mm (Batas penurunan kolom pada penelitian).

Daya dukung terbesar pada variasi kolom berbentuk segitiga diperoleh pada diameter kolom 5,5 Cm dengan spasi kolom 1,25D. Berdasarkan metode *tangent intersection* daya

dukungnya 5,90 Kg/cm² dan daya dukungnya untuk penurunan 20 mm adalah 9,02 Kg/Cm², terjadi kenaikan daya dukung 49,34% terhadap daya dukung tanah tanpa perkuatan kolom.

Daya dukung terbesar pada variasi kolom berbentuk segiempat diperoleh pada diameter kolom 5,5 Cm dengan spasi kolom 1,25D. Berdasarkan metode *tangent intersection* daya dukungnya 6,54 Kg/cm² dan daya dukungnya untuk penurunan 20 mm adalah 10,6 Kg/Cm², terjadi kenaikan 75,5 % terhadap daya dukung tanah tanpa perkuatan.

1. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Semakin besar diameter kolom yang digunakan dengan jarak spasi yang sama, daya dukung kolom tersebut semakin besar.
2. Semakin rapat jarak antar kolom (spasi) yang diuji, daya dukung kolom tersebut semakin besar.
3. Membandingkan hasil pengujian pola segitiga dengan pola segiempat yang digunakan, daya dukung kolom yang ditanam dengan pola segitiga lebih kecil daripada yang ditanam dengan pola segiempat.
4. Limbah *fly ash* dan *bottom ash* dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kekuatan tanah gambut.
5. Hasil pengujian kolom dari campuran *fly ash* dan *bottom ash* ini membuktikan bahwa spasi dan diameter pemasangan kolom pada tanah lunak menentukan besarnya *area replacement ratio*. Semakin besar spasi maka *area replacement ratio* akan menjadi semakin kecil, sedangkan semakin besar diameter kolom, maka *area replacement ratio* akan semakin besar. Semakin besar *area replacement ratio* maka kenaikan atau perbaikan (*Improvement*) yang terjadi pada tanah lunak semakin besar.

6. SARAN

Perbaikan tanah lunak dengan kolom dari *fly ash* dan *bottom ash* sangat baik dalam meningkatkan daya dukungnya. Pemanfaatan limbah yang tidak terpakai juga memberi dampak positif bagi lingkungan.

Namun perlu diadakan penelitian lebih lanjut, apakah membungkus seluruh permukaan kolom dengan geomembran yang kedap air lebih efektif dan ekonomis dibandingkan dengan mencampurkan

sedikit semen pada campuran material kolom *fly ash* dan *bottom ash*. Karena dengan menambahkan sedikit semen saja diyakini dapat menjadi katalisator reaksi pozzolanik. Sehingga bila kolom yang sudah dicampur dengan sedikit semen dimasukkan ke dalam gambut kekuatannya tidak berkurang karena pengaruh air gambut. Kolom dapat digunakan tanpa perlu dibungkus bahan kedap air lagi.

Disertation Thesis, University Teknologi Malaysia.

Munir, M. 2008. *Pemanfaatan abu batubara (fly ash) untuk hollow block yang bermutu dan aman bagi lingkungan*. Tesis Program studi S2 Ilmu Lingkungan Program Magister. Semarang: Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-94a. 1994. *Standart Test methods for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as*
- Faroq, M.F., 2005. *Perilaku fisis dan mekanis abu terbang (fly ash) dalam rekayasa geoteknik*. Skripsi Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Hewlett, P.C. 1998. *Lea's chemistry of cement and concrete*. Newyork: Jonn Wiley & Song Inc.
- HS, Supriyono, Sutopo FX. R., 1994. *Pengkajian pemanfaatan abu batubara PLTU Suralaya untuk bahan bangunan*. Laporan teknik pengolahan no.29. Suralaya: Proyek pengembangan teknologi pengolahan
- Indra Nurtjahjaningtyas, Maliki Akh, 2009 *Efektifitas Penggunaan Stone Column untuk Mengurangi Besar Pemampatan pada Tanah dengan Daya Dukung Rendah*. Disampaikan pada Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2009
- Izquierdo et. Al, 2001, *Use of Bottom Ash from Municipal Solid Waste Incineration as a Road Material*.
- 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 Asce. July 2005.
- Lee, F. W. 2009. *Morphology, Mineralogy and Engineering Characteristics of Tanjung Bin Bottom Ash*. Universiti Teknologi Malaysia: Malaysia.
- Maharani, M.S. 2012. *Karakteristik fisis dan mekanis abu dasar dalam bidang geoteknik*. Skripsi Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Muhardi, 2011, *Pulperized Fuel Ash as Structural Fill for Embankment Construction*, A PhD