

# PENGARUH PENAMBAHAN ABU AMPAS TEBU TERHADAP UJI KUAT GESER TANAH LEMPUNG TANON

MochamadSyarifudin<sup>1)</sup>, Noegroho Djarwanti<sup>2)</sup>, Niken Silmi Surjandari<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup>Dosen Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126, Telp 0271-634524. Email : mochamadsyarifudin47@yahoo.co.id

## Abstract

Tanon soil in Jono village subdistrict Tanon is a troubled land. It can be seen in the soil, such as cracks, hard during the dry and in rainy season the soil becomes soft, sticky, so the bearing capacity becomes low. The bearing capacity of the soil is affected by the cohesion parameter ( $c$ ) and friction angle ( $\varphi$ ). The soil stabilization aims to improve the engineering properties of soil. This study uses bagasse ash (AAT) as a stabilization agent mixed with variation 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the dry weight of the soil. The sample was tested with Triaxial unconsolidated undrained (UU) to find the value of  $c$  and  $\varphi$  and Terzaghi empirical equations to find the value of ultimate bearing capacity in clay. Triaxial UU results showed that the value of cohesion ( $c$ ) was decreasing with the increasing of AAT from 123,303 kN/m<sup>2</sup> on natural soil to 42,565 kN/m<sup>2</sup> at 20% addition of AAT. Friction angle value in the addition of AAT 5% increased from 28.3580 kN/m<sup>2</sup> to 35.5870 kN/m<sup>2</sup> on natural soil at 5% addition of AAT. Value of ultimate bearing capacity ( $q_u$ ) at addition of AAT 5% increased from 4515.744 kN/m<sup>2</sup> at original soil to 4951.622 kN/m<sup>2</sup> at 5% addition of AAT,  $q_u$  maximum value obtained in the addition of 5% AAT

**Keywords:** Tanon soil clay Tanon, bagasse ash, the value of  $c$ ,  $\varphi$ ,  $q_u$

## Abstrak

Tanah Tanon di desa Jono kecamatan Tanon merupakan tanah yang bermasalah. Hal ini dapat dilihat pada tanah, antara lain retak-retak dan keras pada musim kemarau sedangkan pada musim hujan tanah bersifat lembek, lengket, sehingga daya dukungnya menjadi rendah. Daya dukung tanah dipengaruhi oleh parameter kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\varphi$ ). Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan sifat teknis tanah. Pemanfaatan abu ampas tebu (AAT) sebagai bahan stabilisasi diharapkan dapat mengurangi limbah pabrik gula, meningkatkan nilai ekonomis AAT dan memperbaiki sifat teknis tanah. Penelitian ini menggunakan AAT sebagai bahan stabilisasi dengan variasi campuran 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat kering tanah. Selanjutnya dilakukan pengujian *Triaxial unconsolidated undrained* (UU) untuk mencari nilai  $c$  dan  $\varphi$  dan persamaan empiris *Terzaghi* untuk mencari nilai daya dukung *ultimate* pada tanah lempung. Hasil penelitian *Triaxial UU* menunjukkan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) akan semakin menurun seiring bertambahnya AAT dari 123,303 kN/m<sup>2</sup> pada tanah asli menjadi 42,565 kN/m<sup>2</sup> pada penambahan AAT 20%. Nilai sudut gesek dalam mengalami peningkatan pada penambahan AAT 5% yaitu dari 28,358<sup>0</sup> pada tanah asli menjadi 35,587<sup>0</sup> pada penambahan AAT 5%. Nilai daya dukung *ultimate* ( $q_u$ ) mengalami peningkatan pada penambahan AAT 5% yaitu dari 4515,744 kN/m<sup>2</sup> pada tanah asli menjadi 4951,622 kN/m<sup>2</sup> pada penambahan AAT 5%. Nilai  $q_u$  maksimum diperoleh pada penambahan AAT 5%.

**Kata kunci :** Tanah lempung Tanon, abu ampas tebu, nilai  $c$ ,  $\varphi$ ,  $q_u$

## PENDAHULUAN

Tanah Tanon di desa Jono kecamatan Tanon merupakan tanah yang bermasalah. Hal ini dapat dilihat pada tanah, antara lain retak-retak, keras pada musim kemarau dan pada musim hujan tanah bersifat lembek, lengket, sehingga daya dukungnya menjadi rendah dan perlu dilakukan stabilisasi. Untuk mencari nilai daya dukung tanah dilakukan uji parameter kuat geser, uji parameter kuat geser bertujuan untuk mencari nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\varphi$ ). Percobaan *Triaxial unconsolidated undrained* (*Triaxial UU*) merupakan metode yang paling umum untuk mencari nilai  $c$  dan  $\varphi$  pada tanah lempung.

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah dasar sehingga diharapkan tanah dasar tersebut mutunya dapat lebih baik dan dapat meningkatkan kemampuan daya dukung tanah. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan bahan tambahan lain seperti abu ampas tebu. Abu ampas tebu merupakan limbah hasil pembuatan gula. Industri pembuatan gula menggunakan tanaman tebu sebagai bahan utama, di Sragen terdapat kurang lebih 3 pabrik gula antara lain Mojo, Colomadu, Tasikmadu. Limbah yang dikeluarkan salah satunya adalah ampas tebu. Ampas tebu banyak digunakan sebagai bahan bakar pada proses pembuatan gula. Dari sisa pembakaran ampas tebu tersebut menghasilkan abu ampas tebu (AAT). Penambahan AAT diharapkan dapat memperbaiki daya dukung tanah.

Penelitian ini dilakukan dengan cara percobaan di laboratorium, yaitu dengan mencampur tanah dengan AAT menggunakan persentase tertentu dengan maksud dapat memperbaiki sifat fisis dan menambah kekuatan daya dukung tanah dengan metode uji *Triaxial UU*.

Tanah lempung pada umumnya mempunyai butiran halus lebih dari 50%. ASTM memberi batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan No.200. Menurut Hardiyatmo (1992), sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Bowles (1984) menyatakan besarnya kohesi pada tanah tergantung pada ukuran relatif dan jumlah berbagai butiran tanah dan mineral lempungnya. Lempung selalu terkontaminasi dengan lanau dan atau partikel-partikel pasir halus atau juga oleh koloid ( $<0,001$ ). Grimm (1968) mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap batuan selama terdapat cukup banyak alkali dan tanah alkalin untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia, mineral lempung berukuran sangat kecil (kurang dari  $\mu\text{m}$ ) dan merupakan partikel yang sangat aktif secara elektrokimiawi.

Abu ampas tebu (AAT) merupakan sisa pembakaran ampas tebu yang digunakan dalam proses pengolahan tebu. Saat kondisi kering AAT berfungsi sebagai *filler* yang mengisi rongga-rongga antara butiran tanah sehingga air tidak dapat masuk ke dalamnya. Penambahan AAT sebagai bahan stabilisasi diharapkan agar terjadi pertukaran ion-ion positif (kation) yang ada didalam tanah lempung ( $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ ) oleh ion-ion positif yang ada didalam AAT ( $\text{Ca}^{++}$  dan  $\text{Mg}^{++}$ ). Reaksi pertukaran ion-ion positif ini terjadi dalam waktu yang *relativesingkat* dan akan menyebabkan proses terjadinya butiran-butiran yang cukup besar (flokulasi).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Percobaan *Triaxial* merupakan metode paling umum untuk mencari kekuatan geser tanah lempung. Pengujian *Triaxial UU* adalah salah satu metode pengujian *Triaxial* dimana sampel tidak dikonsolidasi terlebih dahulu dan selama pengujian air tidak diperbolehkan keluar atau masuk kedalam sampel uji selama pengujian. Dalam mekanika tanah parameter kuat geser tanah biasa dinyatakan dalam kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\varphi$ ). Mohr (1910) dalam Hardiyatmo (1992) Memberikan suatu teori bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuh dinyatakan dengan persamaan:

$$\tau = f(\sigma) \quad [1] \text{Dimana:}$$

- $\tau$  = tegangan geser saat terjadi keruntuhan
- $\sigma$  = tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Coloumb (1776) mendefinisikan fungsi  $f(\sigma)$  dalam adalah sebagaimana ditulis pada Persamaan:

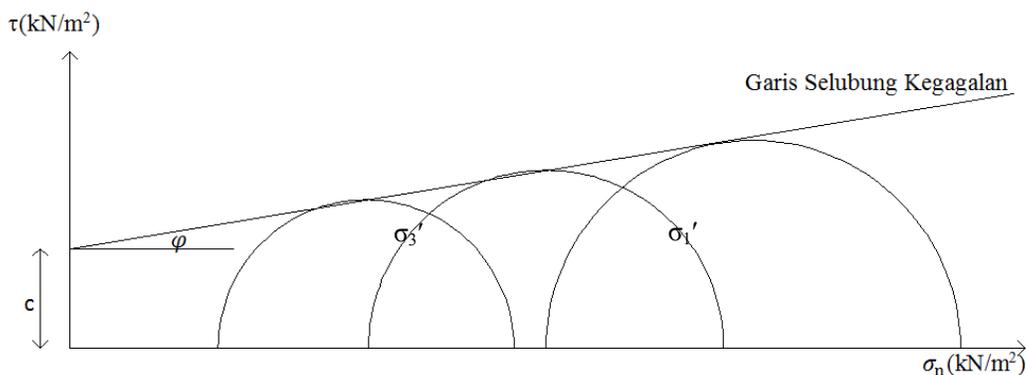
$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi \quad [2]$$

Dimana:

- $\tau$  = kuat geser tanah
- $c$  = kohesi tanah
- $\varphi$  = sudut gesek tanah
- $\sigma_n$  = tegangan normal pada bidang runtuh

Persamaan ini dikenal dengan kegagalan atau keruntuhan Mohr – Coulomb.

Dengan ( $c$ ) dan ( $\varphi$ ) pada titik keruntuhan yang telah diketahui, maka dapat digambar suatu lingkaran Mohr. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lingkaran Mohr

## METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perilaku perubahan nilai kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan AAT pada berbagai persentase penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengujian sampel tanah melalui prosedur-prosedur laboratorium sesuai dengan standar ASTM (*America Society for Testing and Material*).

Bahan yang digunakan berupa sampel tanah diambil dari desa Jono, kecamatan Tanon, kabupaten Sragen pada kedalaman 0,5 sampai 1 meter dengan kondisi sampel tanah terganggu (*disturbed sample*). Pengambilan dengan cara dicangkul, selanjutnya sampel dikeringkan sampai kondisi kering udara. Bahan campuran AAT yang digunakan diambil dari Pabrik Gula Mojo, Sragen. Peralatan yang digunakan dalam pengujian utama adalah satu set alat *Triaxial UU* yang berada di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelas Maret.

Pengujian tanah Tanon pada indeks properties, penentuan klasifikasi tanah, pengujian mineralogi tanah lempung dengan uji defraksi sinar X (XRD). Pengujian komposisi kimia AAT menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF). Pengujian campuran tanah dengan AAT untuk mengetahui kepadatan tanah menggunakan *Standard Proctor* untuk selanjutnya nilai kepadatan pada kadar air digunakan dalam pembuatan sampel pengujian *Triaxial UU*. Hasil pengujian *Triaxial UU* bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian indeks propertis tanah lempung Tanon diperoleh kadar air ( $w_n$ ) sebesar 53,87%, *specific gravity* ( $G_s$ ) sebesar 2,62 dan berat isi tanah basah ( $\gamma$ ) 14,2 kN/m<sup>3</sup>. Distribusi ukuran butiran tanah termasuk jenis berbutir halus yang terdiri dari lanau dan lempung sebesar 96,23 %. Pengujian batas-batas konsistensi tanah (*Atterberg limit*) diperoleh batas cair (LL) 87,35% dan batas plastis (PL) 33,37% serta indeks plastisitas (PI) sebesar 53,98%. Berdasarkan diagram plastisitas, tanah Tanon termasuk dalam kelompok CH yaitu golongan lempung dengan plastisitas tinggi.

Hasil pengujian mineral tanah lempung Tanon menggunakan uji defraksi sinar X (XRD), sudut puncak yang muncul dari tanah lempung Tanon mengandung mineral montmorilonit, dapat dilihat kemunculan puncak spektrum pada daerah sudut kecil antara 3<sup>o</sup> sampai 9<sup>o</sup>. Pengujian AAT untuk mengetahui komposisi kimia menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF). Komposisi kimia dari AAT terdiri dari beberapa unsur, unsur yang paling banyak adalah SiO<sub>2</sub>. Hasil pengujian selengkapannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia abu ampas tebu

Unsur	Konsentrasi	Unsur	Konsentrasi
SiO <sub>2</sub>	67,33%	MnO	0,27%
CaO	12,51%	ZnO	0,05%
K <sub>2</sub> O	4,11%	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45%	CuO	0,05%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,39%	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,10%	ZrO <sub>2</sub>	0,02%
SO <sub>3</sub>	2,81%	Rb <sub>2</sub> O	0,02%
MgO	2,04%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01%
Cl	0,46%	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01%
TiO <sub>2</sub>	0,28%		

Sumber: (Hasil uji XRF Lab. MIPA Terpadu UNS)

Hasil pengujian pemadatan *standard Proctor* dan analisis yang dilakukan terhadap seluruh sampel pada persentase penambahan AAT dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian pemadatan *Standard Proctor*

Penambahan AAT	Kadar air $w_{opt}$ (%)	Berat isi basah $\gamma_b$ maks (kN/m <sup>3</sup> )	Berat isi kering $\gamma_d$ maks (kN/m <sup>3</sup> )	Angka pori $e_{min}$	Porositas $\rho_{min}$
0 %	43,30	16,05	11,30	1,330	0,571
5 %	41,60	16,56	11,69	1,240	0,556

10 %	37,80	16,40	11,87	1,210	0,545
15 %	35,77	16,55	12,16	1,155	0,540
20 %	33,80	16,57	12,40	1,110	0,527

Penambahan AAT akan mengurangi kadar air optimum sehingga air yang dibutuhkan untuk tanah mencapai kepadatan optimum berkurang, karena rongga-rongga yang sebelumnya terisi oleh air sebagian akan terisi oleh AAT. Hal ini akan menaikkan kepadatan tanah karena jumlah air yang diserap tanah diganti oleh butiran AAT.

Penambahan AAT akan meningkatkan berat isi basah ( $\gamma_b$ ) maksimum tanah. Semakin besar  $\gamma_b$  maka kepadatan tanah semakin tinggi, karena meningkatnya butiran serta berkurangnya air pengisi rongga tanah pada berat volume yang sama. Penambahan AAT akan meningkatkan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) tanah, semakin besar  $\gamma_d$  maka kepadatan tanah semakin tinggi karena rongga-rongga pori akan terisi oleh AAT yang sebelumnya terisi oleh udara. Tingkat kepadatan suatu tanah dapat dilihat dari besarnya berat isi pada tanah kering. Angka pori akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya AAT. Adanya butiran AAT yang mengisi rongga pori tanah akan mengurangi jarak antar butiran tanah sehingga susunan butiran menjadi semakin rapat dan kepadatan tanah juga ikut meningkat. Porositas berbanding lurus dengan angka pori, porositas juga akan semakin kecil seiring bertambahnya AAT. Butiran AAT yang mengisi rongga pori tanah semakin banyak sehingga lubang kosong diantara butiran tanah menjadi semakin sedikit. Tertutupnya rongga pori tanah oleh AAT berperan terhadap peningkatan kepadatan.

Pengujian *Triaxial UU* dilakukan untuk menentukan besarnya nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) untuk sampel tanah pada kondisi asli atau tanpa penambahan dan sampel tanah dengan penambahan AAT dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan selanjutnya dilakukan penghitungan daya dukung *Ultimate* ( $q_u$ ) dengan menggunakan persamaan:

$$q_u = c.N_c + \gamma_b.H.N_q + 0,5.B.\gamma_d.N_\gamma \quad [3]$$

dimana:

$q_u$  = kapasitas dukung *ultimate* untuk pondasi memanjang (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  = berat isi basah (kN/m<sup>3</sup>)

$H$  = kedalaman (m)

$B$  = lebar (m)

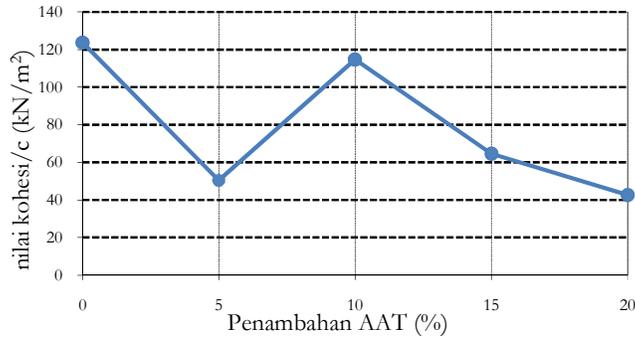
$\gamma_d$  = berat isi kering (kN/m<sup>3</sup>)

$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor kapasitas dukung *Terzaghi*

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

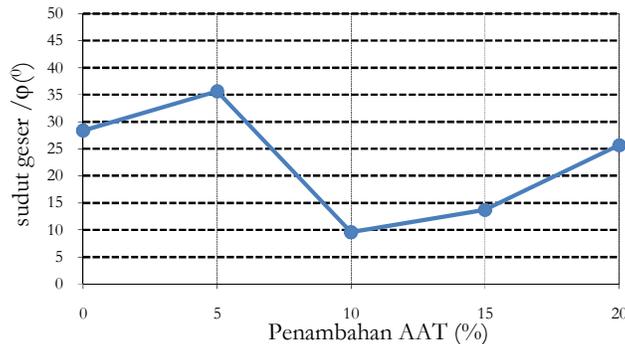
Tabel 3. Hasil Pengujian *Triaxial UU* dan Daya Dukung *Ultimate* ( $q_u$ )

Penambahan AAT	Nilai kohesi ( $c$ ) kN/m <sup>2</sup>	Sudut geser ( $\phi$ ) ( $^\circ$ )	Daya dukung <i>Ultimate</i> kN/m <sup>2</sup>
AAT 0%	123,803	28,358	4825,215
AAT 5%	50,405	35,587	4951,622
AAT 10%	114,713	9,541	1169,013
AAT 15%	64,526	13,721	922,341
AAT 20%	42,565	25,671	1670,422



Gambar 2. Grafik Hubungan Penambahan Abu Ampas Tebu dengan Nilai Kohesi

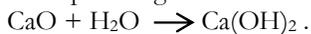
Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan nilai kohesi yang dicampur dengan AAT. Nilai penurunan kohesi terbesar terjadi pada penambahan AAT 5% sebesar 50,45 kN/m<sup>2</sup> dan pada penambahan AAT 20% sebesar 42,565 kN/m<sup>2</sup>. Bertambahnya butiran AAT yang mengisi rongga pori tanah akan mengurangi jarak antar butiran dan menyebabkan proses terjadinya butiran-butiran yang lebih besar (flokulasi). Berkurangnya jarak antar butiran dan terbentuknya butiran yang lebih besar akan menyebabkan turunnya nilai kohesi pada tanah asli.



Gambar 3. Grafik Hubungan Penambahan Abu Ampas Tebu dengan Sudut Gesek Dalam

Gambar 3 menunjukkan adanya peningkatan nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) pada penambahan AAT 5% dari 28,358° dari tanah asli menjadi 35,587°. Pada penambahan AAT 10% – 20% nilai  $\phi$  terus mengalami penurunan, walaupun naik pada penambahan AAT 20% nilainya masih kurang dari nilai sudut gesek pada tanah asli. Penurunan nilai  $\phi$  pada AAT 10%–20% ini mungkin disebabkan oleh unsur Ca yang terdapat pada AAT tidak cukup untuk bereaksi dengan SiO<sub>2</sub> pada tanah lempung.

Unsur utama pembentuk tanah lempung adalah SiO<sub>2</sub> (*silikat*) dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*aluminat*). Unsur Si pada tanah lempung bila direaksikan dengan CaO pada AAT akan membentuk reaksi CaSiO<sub>3</sub> (*calcium silikat*). CaO pada AAT bila dicampur dengan air akan terjadi reaksi:



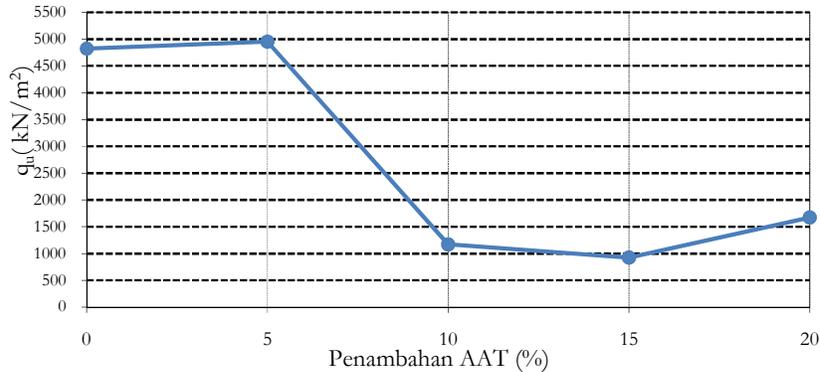
Pada proses pemeraman AAT dengan tanah lempung maka akan terjadi reaksi:



CaSiO<sub>3</sub> bersifat mengikat butiran lempung dengan lempung dan butiran lempung dengan AAT sehingga mengurangi jarak antar butiran dan menyebabkan proses flokulasi. Pada penambahan AAT unsur SiO<sub>2</sub> juga bertambah besar sehingga kandungan Ca pada AAT tidak cukup banyak untuk mengikat kandungan SiO<sub>2</sub> pada tanah lempung dan AAT. Meskipun jarak antar butiran tanah berkurang dan proses flokulasi juga terjadi, kandungan SiO<sub>2</sub> juga bertambah sehingga pada penambahan AAT 10%–20% nilai  $\phi$  mengalami penurunan.

Nilai  $\phi$  maksimum diperoleh pada penambahan AAT 5% sebesar 35,587°. Dari Gambar 3 dan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa penambahan AAT terbaik terjadi pada penambahan AAT 5%, sedangkan pada penambahan

AAT 10%–20% sudah tidak disarankan lagi karena cenderung menyebabkan nilai  $\phi$  semakin turun, meskipun pada penambahan AAT 20% nilai  $\phi$  mengalami kenaikan, namun nilainya masih kurang dari nilai  $\phi$  pada tanah asli dan apabila dilakukan penambahan AAT lagi, kemungkinan nilai  $\phi$  tidak akan mengalami perubahan atau sama dengan penambahan AAT 20%.



Gambar 4. Grafik Hubungan Penambahan Abu Ampas Tebu dengan Nilai Daya Dukung *Ultimate* ( $q_u$ ) Maksimum

Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukkan adanya peningkatan nilai daya dukung *ultimate* ( $q_u$ ) pada penambahan AAT 5% dari 4515,744 kN/m<sup>2</sup> pada tanah asli menjadi 4951,622 kN/m<sup>2</sup>. Nilai  $q_u$  maksimum diperoleh pada penambahan AAT 5% sebesar 4951,622 kN/m<sup>2</sup>, pada penambahan AAT 10% – 20% nilai  $q_u$  terus mengalami penurunan. Nilai  $q_u$  berbanding lurus dengan nilai  $\phi$ . Pada penambahan AAT 10%–20% nilai  $\phi$  terus mengalami penurunan, hal ini juga berakibat pada turunnya nilai  $q_u$ , sehingga dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa penambahan AAT 5% dapat digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah Tanon, sedangkan penambahan AAT 10% – 20% sudah tidak disarankan karena cenderung menyebabkan penurunan pada daya dukung tanah.

## SIMPULAN

Penambahan AAT 5% menurunkan nilai kohesi sebesar 59,28% dari tanah asli. Sudut gesek dalam maksimum diperoleh pada penambahan AAT 5% sebesar 25,49%. Pada penambahan AAT 10% – 20% nilai sudut gesek dalam cenderung menurun sehingga penambahan AAT 10% – 20% sudah tidak disarankan. Penambahan AAT dapat digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah, Daya dukung *ultimate* maksimum diperoleh pada penambahan AAT 5% sebesar 2,6% dari tanah asli.

## REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian dengan alat uji kuat geser yang lain, misalnya uji *direct shear* sebagai pembandingan. Dapat dipertimbangkan mengenai alternatif bahan stabilisasi lain supaya dapat diperoleh perbandingan yang lebih baik guna memperbaiki kondisi tanah lempung tersebut. Perlu dilakukan penelitian pada penambahan antara AAT 0% – 5%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada pembimbing skripsi Ir. Noegroho Djarwanti, MT dan Dr. Niken Silmi Surjandari, ST, MT, yang telah memberikan pengarahan, laboratorium mekanika tanah beserta staff yang membantu dan Nafisah Umri Ukroi, Adib Syarifudin, Ryan Greosty Hartanto selaku teman satu kelompok penelitian.

## REFERENSI

- American Society for Testing and Materials, 1997, *Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.08, Soil and Rock (I)*, ASTM European Office, England.
- Bowles, J.E., 1984, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, (Alih Bahasa Hainim, J.K., 1991) Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R.F., 1987, *Mekanika Tanah*, (Alih Bahasa Soepandji, B.S., 1994) Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., 1985, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, (Alih Bahasa Mochtar, N.E. dan Mochtar, I.B., 1995) Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Hardiyatmo, H.C., 2001, *Prinsip-Prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, *Teknik Fondasi 1*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hatmoko, J.T. dan Lulie, Y., 2007, *UCS Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur*, Jurnal Teknik Sipil.
- Puri, D.T.R., 2012, *Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung yang Distabilisasi Dengan Kapur*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Sasanti, A.A., 2012, *Kajian Pengembangan Tanah Lempung Ditinjau dari Besarnya Kadar Air*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1967, *Mekanika Tanah dalam Rekayasa Geoteknik*, (Alih Bahasa Witjaksono, B. dan Krisna, B.R., 1993), Erlangga, Jakarta.
- Verhoef, P.N.W., 1985, *Geologi untuk Teknik Sipil*, (Alih Bahasa Diraatmadja, E., 1995), Erlangga, Jakarta.
- Wiqoyah, Q, 2003, *Stabilisasi Tanah Lempung Tanon Dengan Penambahan Kapur Dan Tras*, Tesis, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta.
- Wiqoyah, Q, 2006, *Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung*, Dinamika Teknik Sipil