

PENGARUH PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH LAKARSANTRI SURABAYA TERHADAP NILAI DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL

Yuda Purnama

Prodi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yudapurnama@mhs.unesa.ac.id

Machfud Ridwan

Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

Email: Mahfud.Unesa@gmail.com

Abstrak

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Contohnya adalah tanah di Daerah Lakarsantri Surabaya. Tanah ekspansif pada umumnya akan mengembang dan menyusut apabila terjadi perubahan kadar air dan berakibat pada bangunan di atasnya.

Penelitian ini menggunakan stabilisasi tanah secara kimiawi dengan penambahan abu dasar dari PT. Wilmar Nabati Indonesia di Gresik. Abu dasar mempunyai beberapa kandungan kimia positif berupa Al, Si, Ti, Ca, dan Fe yang diantaranya dibutuhkan untuk mengikat partikel pada tanah lempung, dengan tujuan untuk memberi pengaruh pada nilai daya dukung pondasi dangkal.

Variasi penambahan abu dasar sebanyak: 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, dan 62,5%. Untuk pengujian tanah yang dilakukan meliputi uji konsistensi tanah, uji berat jenis tanah, uji pemadatan dengan standart proctor, dan terakhir uji kuat tekan bebas setelah itu dilakukan perhitungan daya dukung pondasi dangkal.

Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh penambahan abu dasar sebesar 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, dan 62,5% pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung pondasi dangkal adalah 25,864 t/m², 42,159 t/m², 45,121 t/m², 49,575 t/m², 39,366 t/m², dan 29,666 t/m².

Kata Kunci: Tanah lempung ekspansif, abu dasar, daya dukung pondasi dangkal

Abstract

Expansive clay soil is soil which has great shrinkage feature, it is strongly influenced by the water content inside the soil. For instances, soil in Lakarsantri area, Surabaya. Expansive soil will generally expand and shrink if there is changing in water content and it has consequence in building on it.

This research used chemical soil stabilization with Bottom Ash from PT. Wilmar Nabati Indonesia in Gresik as the addition. Bottom Ash has several positive chemical substances of Al, Si, Ti, Ca, and Fe that are required to bind the particles in clay soil, in order to influence the capacity of shallow foundation.

Variations of adding Bottom Ash as much: 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, and 62,5%. For the soil testing, it was conducted in several tests include soil consistency test, the specific gravity test, standard proctor compaction test, and free compressive strength test. After that, the calculation of capacity of shallow foundation is done.

The research result showed that there was influence with the addition of Bottom Ash as much 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, and 62,5% in the expansive clay soil towards the capacity of shallow foundation value that is 25,864 t/m², 42,159 t/m², 45,121 t/m², 49,575 t/m², 39,366 t/m², dan 29,666 t/m²

Keyword: *Expansive lays, Bottom Ash, capacity of shallow foundation*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang dipengaruhi oleh kadar air dan mempunyai sifat cukup kompleks. Kadar air ini mempengaruhi sifat kembang susut dan kohesinya (Braja M. Das, 1994). Tanah Ekspansif adalah tanah yang mudah mengalami perubahan volume karena mempunyai potensi kembang susut yang sangat tinggi, sehingga sering menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya. Stabilisasi tanah ekspansif dengan cara menambahkan bahan kimia sudah banyak dilakukan, dan bahan kimia yang sering digunakan adalah semen dan kapur. Bahan kimia juga dapat diperoleh dari limbah pabrik atau industri yang dapat dimanfaatkan sebagai stabilisasi tanah, misalnya limbah dari pembakaran batu bara yakni *Bottom ash*.

Di daerah Lakarsantri Surabaya memiliki tanah berjenis tanah ekspansif. Hal ini dikhawatirkan memiliki dampak pada struktur bangunan yang nantinya akan berdiri di lokasi tersebut karena dipengaruhi daya dukung tanah yang kurang stabil. Gejala awal yang sering dijumpai di tempat tersebut adalah retakan/rekahan yang didefinisikan sebagai susut tanah yang terjadi akibat cuaca panas dan akan mengembang jika tanah jenuh terhadap air. Penanganan tanah lempung ekspansif yang akan dilakukan di daerah tersebut yakni dengan stabilisasi tanah menggunakan limbah industri batu bara atau biasa disebut *Bottom Ash*.

Dalam penelitian ini, akan ditinjau efisiensi kadar campuran *Bottom Ash* untuk mencapai optimalisasi perbaikan nilai kuat tekan bebas dan batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*) dalam peningkatan

daya dukung dan stabilisasi tanah lempung. Pemilihan penggunaan *Bottom Ash* didasarkan atas ketersediaan *Bottom Ash* yang cukup melimpah dari pembakaran batu bara dan beberapa kandungan kimia yang ada pada *Bottom Ash* seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah. *Bottom Ash* kurang diperhatikan untuk penelitian-penelitian dibandingkan dengan Abu terbang (*fly ash*) yang sering digunakan dalam teknologi bahan. Hal ini mengakibatkan pemanfaatan limbah *Bottom Ash* yang semula kurang mendapatkan perhatian mempunyai nilai manfaat dan ekonomi, dengan pengolahan limbah tersebut akan mengurangi pencemaran terhadap lingkungan sekitar PT. Wilmar Nabati Indonesia.

Usaha stabilisasi dengan menggunakan *Bottom Ash* diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah (*qu*) yang akan berpengaruh pada daya dukung tanah pondasi suatu struktur bangunan yang akan berdiri di lokasi tanah ekspansif tersebut. Penelitian ini juga digunakan sebagai usaha untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *Bottom Ash* terhadap stabilisasi tanah lempung ekspansif di daerah Lakarsantri Surabaya.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang diatas yaitu:

Bagaimana pengaruh penambahan *Bottom Ash* terhadap daya dukung tanah pondasi dangkal pada tanah ekspansif ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Bottom Ash* sebagai bahan tambahan untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung tanah pondasi dangkal.

D. Manfaat penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah mendapatkan pengetahuan pengaruh penambahan *Bottom Ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung pondasi dangkal dan memberikan alternatif solusi perbaikan tanah lempung ekspansif di Daerah Lakarsantri Surabaya.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil ada penelitian ini adalah:

1. Tanah lempung ekspansif yang diambil adalah di Jalan Menganti Jeruk Desa Banjarmelati Lakarsantri Surabaya.
2. *Bottom Ash* diambil dari PT. Wilmar Nabati Indonesia.
3. Sampel benda uji penelitian terdiri dari tanah + 0% *Bottom Ash*, tanah + 12,5% *Bottom Ash*, tanah + 25% *Bottom Ash*, tanah + 37,5% *Bottom Ash*, tanah + 50% *Bottom Ash*, tanah + 62,5% *Bottom Ash* dengan kepadatan maksimal (γ_d max) menggunakan Standart Proctor Test.

KAJIAN PUSTAKA

A. Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Secara umum, sifat-sifat yang menonjol dari tanah ekspansif adalah berdaya dukung sangat rendah pada kondisi basah. Kemudian, kembang susut yang sangat tinggi sehingga berakibat sangat buruk apabila mengalami perubahan kadar air (timbul retak-retak pada kondisi kering dan mengembang pada kondisi basah. (Hardyatmo H.C, 2012)

B. Abu Dasar (*Bottom Ash*)

Pada pembakaran batubara di dalam boiler akan menghasilkan limbah berupa debu (*ash*). Menurut ukurannya limbah debu di bagi menjadi dua yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). *Bottom ash* adalah limbah abu yang ukurannya lebih besar dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (boiler). Pemilihan penggunaan *Bottom Ash* didasarkan atas ketersediaan *Bottom Ash* yang cukup melimpah dari pembakaran batu bara PT. Wilmar Nabati Indonesi Gresik dan beberapa kandungan kimia yang ada pada *Bottom Ash* seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah.

C. Stabilisasi Tanah

Menurut Ingles dan Metcalf (dalam Ali Marta,2015:18), salah satu stabilisasi tanah ekspansif yang murah dan efektif adalah menambahkan bahan kimia tertentu, dengan menambahkan bahan kimia tertentu dapat mengikat mineral lempung menjadi padat. Sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif. Menurut B. Mochtar, (dalam Suryawan, 2012:32) cara stabilisasi tanah terdapat dua cara pokok yaitu :

1. Perbaikan tanah dengan bahan tambah atau kimiawi (chemical stabilization).
Yaitu stabilisasi yang menggabungkan unsur benda satu dengan benda lainnya yang bertujuan untuk mendapatkan unsur yang baru. Ada beberapa cara dalam stabilisasi kimia ini antara lain : pencampuran dengan kapur, pencampuran dengan garam, pencampuran dengan semen, pencampuran dengan aspal dan masih banyak upaya pencampuran dengan bahan kimia lainnya.
2. Perbaikan tanah mekanis (Mechanical stabilization)

Terdapat dua cara yaitu :

- a. Stabilisasi dengan cara mencampur secara langsung antara tanah yang jelek dengan tanah yang lebih baik, dengan tujuan kembang susut tanah berkurang.
- b. Memadatkan tanah dasar sehingga didapatkan susunan struktur matrik tanah yang lebih kokoh untuk mengurangi kembang susut tanah.

$$q_u = 1,3 c' \cdot N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma'$$

D. Uji Kuat Tekan Bebas

Uji tekan bebas merupakan uji kekuatan pada tanah dalam kondisi bebas. Kuat tekan bebas (q_u) adalah nilai beban aksial persatuan luas pada saat diuji mengalami keruntuhan atau ketika regangan mencapai kurang lebih 15%. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung (*clay*) atau lanau (*slit*).

Pengujian tanah ini hanya cocok digunakan untuk jenis tanah lempung jenuh, yang mana pada proses pembebanan yang berangsur-angsur, air tidak memiliki kesempatan untuk mengalir keluar dari tanah tersebut. Pada tanah lempung jenuh, tekanan air dalam pori pada tanah pada awal pengujian negatif (tegangan kapiler). Pada saat keruntuhan, karena $\sigma_3 = 0$, maka,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta \sigma_f = \Delta \sigma_f = q_u$$

Dengan q_u adalah kuat tekan bebas. Secara teoritis nilai $\Delta \sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated-undrained* dengan benda uji yang sama. Maka,

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2}$$

Dimana S_u atau C_u adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya (Hardiyatmo H.C, 2012).

E. Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimum yang dapat dipikul oleh tanah tersebut tanpa terjadi kelongsoran atau keruntuhan. Apabila beban di atas pondasi ditambah maka pondasi akan turun yang akhirnya terjadi keruntuhan (Braja M. Das, 1985).

Menurut terzaghi suatu pondasi dangkal adalah apabila kedalaman pondasi D_f kurang atau sama dengan lebar pondasi B .

a. Persamaan daya dukung tanah dengan kondisi keruntuhan geser menyeluruh :

1) Untuk pondasi lajur menurut terzaghi dinyatakan sebagai berikut :

$$q_u = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma$$

q_u = daya dukung ultimate pada pondasi lajur (kN/m^2)

c = kohesi tanah

D_f = kedalaman pondasi (m)

B = lebar pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

$N_c, N_q, N \gamma$ = factor daya dukung terzaghi

2) Untuk pondasi bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma$$

3) Untuk pondasi lingkaran

$$q_u = 1,3 c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma$$

b. Persamaan daya dukung tanah dengan kondisi keruntuhan geser setempat

$$c' = \frac{2}{3} c$$

$$\tan \phi' = \frac{2}{3} \tan \phi$$

1) Untuk pondasi lajur menurut terzaghi dinyatakan sebagai berikut :

$$q_u = c' \cdot N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma'$$

2) Untuk pondasi bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 c' \cdot N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N \gamma'$$

3) Untuk pondasi lingkaran

METODE PENELITIAN

A. Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah pengembangan penelitian eksperimen, dimana penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Surabaya. Bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan bebas dengan kepadatan yang maksimum menggunakan standart proctor test, yang sebelumnya dilakukan test uji fisik yang berupa *atterberg* dan *specific gravity*. Serta mengetahui nilai daya dukung pondasi dangkal.

B. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel yang sengaja dipelajari pengaruhnya dengan cara mengubah-ubah dan memanipulasi terhadap variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah bottom ash, yaitu dari Tanah + 0% *Bottom Ash*, Tanah + 12,5% *Bottom Ash*, Tanah + 25% *Bottom Ash*, Tanah + 37,5% *Bottom Ash*, Tanah + 50% *Bottom Ash*, Tanah + 62,5% *Bottom Ash*.

2. Variabel Terikat

Variabel akibat yang keadaannya tergantung pada variabel bebas, sehingga variabel terikat pada penelitian ini adalah harga kuat tekan bebas.

3. Variabel Kontrol

Perlakuan yang disamakan terhadap penelitian yang dilakukan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif sangat tinggi, bottom ash, dan kepadatan benda uji dari *standart proctor test*.

C. Tempat Dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian tersebut dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2017-2018.

D. Instrumen Penelitian

Dalam metode penelitian eksperimen ini penulis melakukan penelitian secara langsung pada sampel, berupa :

1.) Test fisik tanah:

- Atterberg, yang berupa : batas cair dan batas untuk mendapatkan data indeks plastisitas.
- Test specific gravity untuk mendapatkan data berat jenis tanah.

2.) Test kepadatan tanah dengan menggunakan *proctor test* untuk mendapatkan data kadar air optimum dan kepadatan optimum.

3.) Test kuat tekan bebas (*unconfined*) untuk mendapatkan data nilai kuat tekan bebas pada tanah.

E. Teknik Pengumpulan data

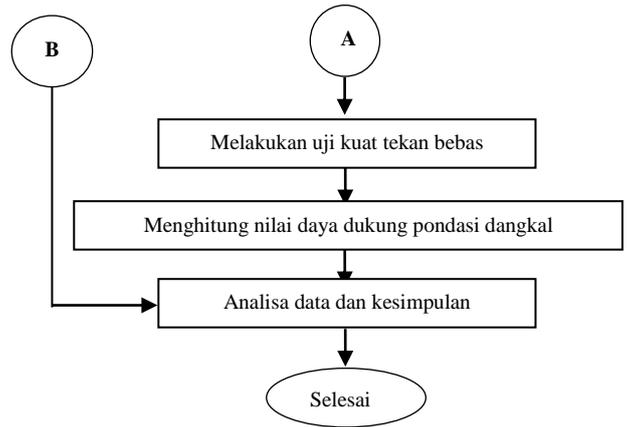
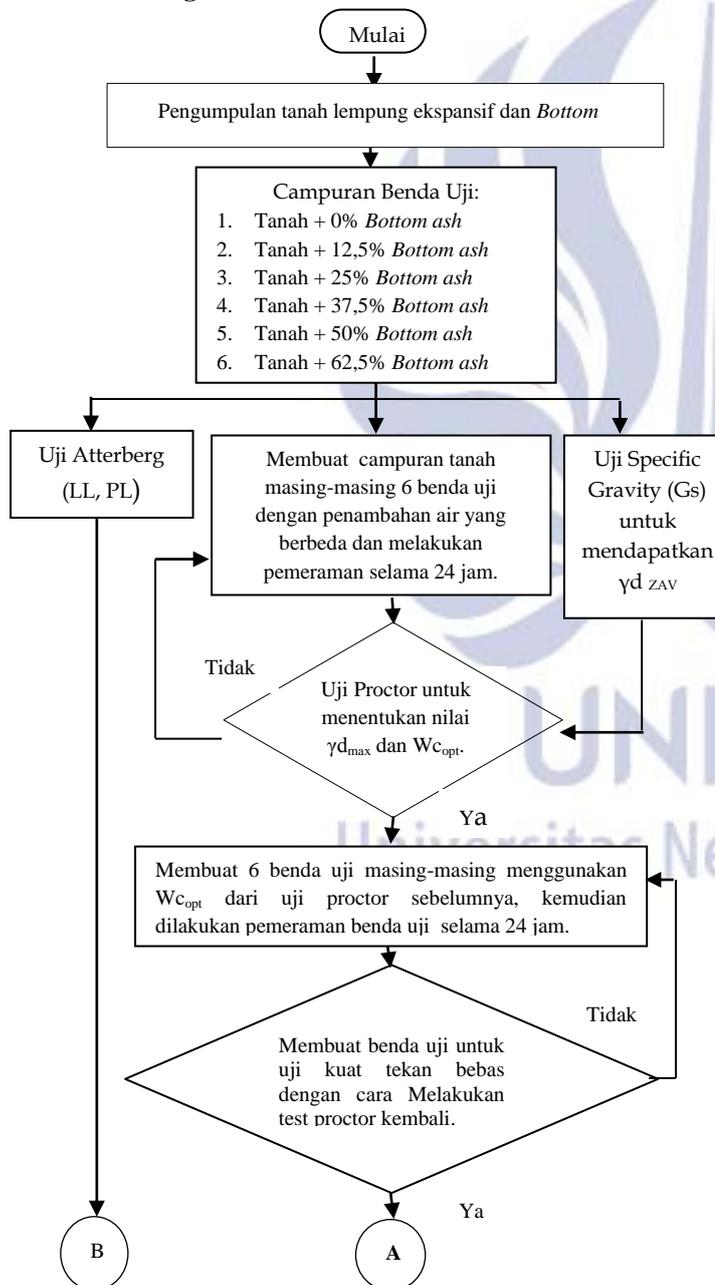
Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini melalui beberapa tahap pengujian yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah, yaitu:

1. Tes Specific gravity untuk memperoleh nilai berat jenis tanah.
2. Test batas-batas atterberg (uji LL dan PL) untuk mendapatkan data Indeks Plastisitas.
3. Test pemadatan tanah dengan menggunakan Proctor Test untuk mendapatkan kadar air air optimum dan kepadatan optimum.
4. Test Kuat tekan bebas (unconfined) untuk mendapatkan nilai kuat tekan bebas.

F. Teknik Analisa data

Analisa data yang digunakan yaitu berupa deskriptif kualitatif. Data-data yang dihasilkan dari praktik laboratorium akan diolah menjadi tabel dan grafik dengan bantuan software Microsoft Excel.

G. Diagram Alir Penelitian



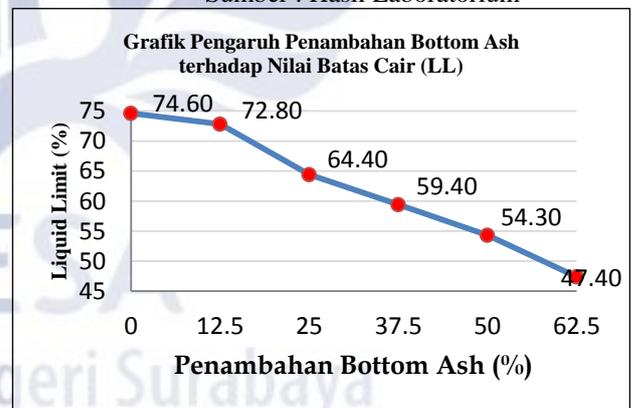
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Liquit Limit (LL)

Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Liquit Limit (LL)

Penambahan Bottom Ash (%)	Nilai Batas Cair (LL) (%)	Prosentase Penurunan (%)
0	74,6	0,0
12,5	72,8	2,4
25	64,4	13,7
37,5	59,4	18,4
50	54,3	15,7
62,5	47,4	20,2

Sumber : Hasil Laboratorium



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif terhadap Nilai Liquit Limit (LL) Sumber: Hasil Laboratorium

Nilai batas cair (LL) mengalami penurunan dikarenakan berkurangnya kadar air terhadap tanah lempung ekspansif yang dilakukan penambahan *bottom ash*. Penambahan kadar air pada tanah lempung ekspansif dalam keadaan normal atau tanpa penambahan *bottom ash*, mengakibatkan tanah lempung ekspansif memiliki daya serap air lebih banyak sehingga berdampak pada nilai batas cair akan menjadi besar. Lain halnya dengan penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif memiliki pengaruh pada nilai batas cair menjadi turun. Hal ini disebabkan

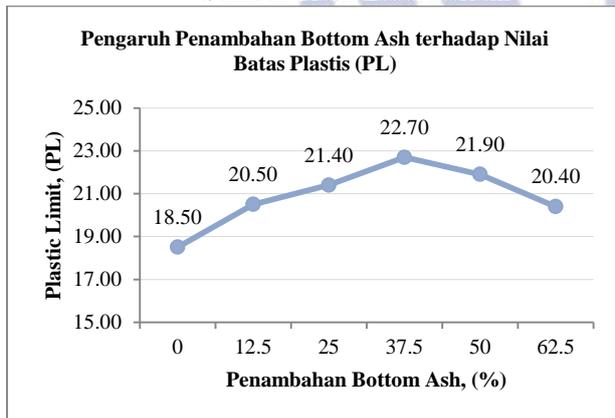
karena limbah *bottom ash* memiliki daya serap rendah terhadap air sehingga sebagian besar air diserap oleh tanah lempung ekspansif, dan berkurangnya komposisi tanah ekspansif yang memiliki daya yang tinggi pada air, sehingga semakin banyak penambahan *bottom ash* mempengaruhi penurunan nilai batas cair (LL).

B. Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Plastis (PL)

Tabel 4.2 Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Plastis Limit (PL)

Penambahan <i>Bottom Ash</i> (%)	Nilai Batas Plastis (PL) (%)
0	18,5
12,5	20,5
25	21,4
37,5	22,7
50	21,9
62,5	20,4

Sumber: Hasil Laboratorium



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Batas Plastis (PL) Sumber: Hasil Laboratorium

Menurut Ramme, limbah *bottom ash* tidak memiliki plastisitas dan memiliki penyerapan air yang rendah (28,7% dan 32,3%) namun bersifat ekspansif karena mengandung senyawa *pyrit*. Peningkatan nilai batas plastis (PL) pada penambahan *bottom ash* sebesar 12,5% 25%, dan 37,5% pada tanah lempung ekspansif dikarenakan adanya proses hidrasi (dimana kedua material mengikat air) dan menyebabkan retak sebelum gulungan mencapai 3mm. Hal ini terjadi akibat tanah yang mengalami pengeringan yang cepat.

Sedangkan pada penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif sebesar lebih dari 37,5% maka prosentase berat tanah ekspansif akan berkurang. Semakin banyak penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif, menyebabkan penyerapan air pada campuran tanah lempung ekspansif dan *bottom ash* semakin rendah. Selain itu *bottom ash* tidak memiliki sifat plastisitas sehingga penyerapan air pada campuran tanah ekspansif dan *bottom ash* sedikit maka campuran

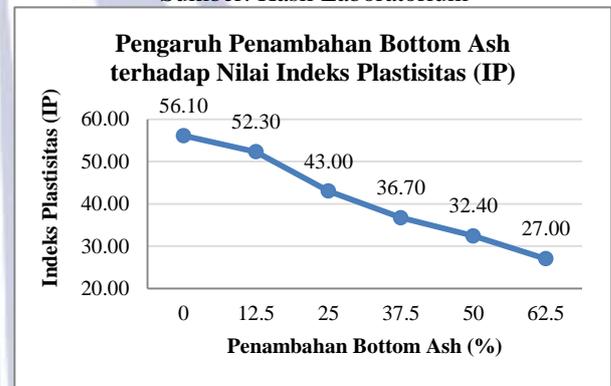
tanah mengalami retak sebelum mencapai diameter 3mm.

C. Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Indeks Plastisitas (IP)

Tabel 4.3 Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Indeks Plastisitas

Penambahan Limbah <i>Bottom Ash</i> (%)	Nilai Indeks Plastisitas (IP) (%)	Kategori Pengembangan
0	56,1	Tinggi
12,5	52,3	Tinggi
25	43,0	Tinggi
37,5	36,7	Tinggi
50	32,4	Tinggi
62,5	27,0	Tinggi

Sumber: Hasil Laboratorium



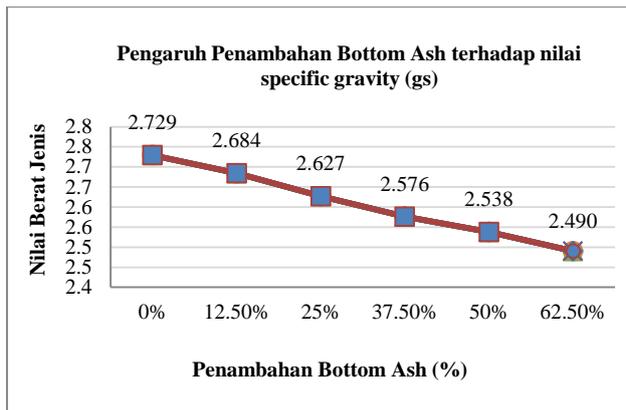
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Indeks Plastisitas Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai indeks plastisitas (IP) juga dipengaruhi oleh nilai batas cair dan batas plastis. Apabila nilai batas cair mengalami penurunan, sedangkan nilai batas plastis naik, maka nilai indeks plastisitas akan turun. Oleh karena itu, maka semakin besar penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif maka semakin kecil nilai indeks plastisitas yang diperoleh.

D. Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah (Gs)

Tabel 4.4 Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah

Penambahan <i>Bottom Ash</i> (%)	Nilai Berat Jenis Tanah (GS)
0,0	2,729
12,5	2,684
25,0	2,627
37,5	2,576
50,0	2,538
62,5	2,490



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah (Sumber: Hasil Laboratorium)

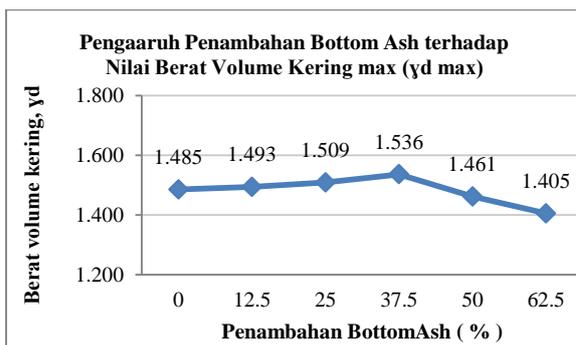
Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan bottom ash pada tanah lempung ekspansif dapat mengakibatkan menurunnya nilai berat jenis tanah (Gs). Hal tersebut disebabkan karena bottom ash itu sendiri. Terjadinya penggumpalan campuran tanah lempung ekspansif dan *bottom ash* ini menyebabkan meningkatnya nilai volume butir (vs) mengakibatkan menurunnya berat volume butir (γ_s), maka Nilai Berat Jenis semakin menurun. Jadi semakin banyak penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif maka semakin kecil nilai berat jenis tanah tersebut.

E. Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kepadatan Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$)

Tabel 4.5 Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kepadatan Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$)

Penambahan Bottom Ash (%)	Nilai Kepadatan Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$) (gr/cm^3)
0	1,485
12,5	1,493
25	1,509
37,5	1,536
50	1,461
62,5	1,405

Sumber: Hasil Laboratorium



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Penambahan *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kepadatan Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$)

Pada Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh penambahan bottom ash pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai kepadatan maksimum. Dapat dilihat pada gambar tersebut prosentase penambahan *bottom ash* yang semakin besar maka nilai kepadatan maksimum semakin besar. Namun, nilai kepadatan maksimum terbesar terletak pada penambahan *bottom ash* sebesar 37,5% akan tetapi mengalami penurunan pada saat penambahan bottom ash lebih dari 37,5%.

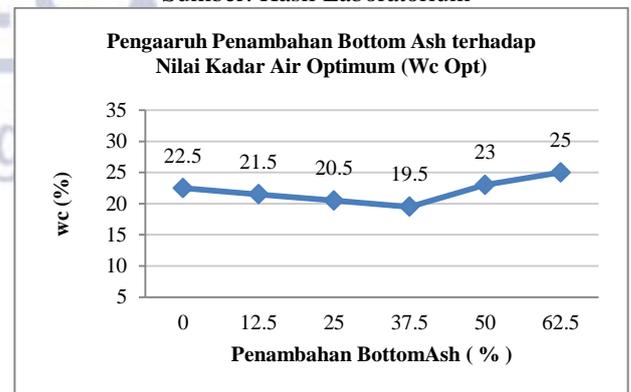
Sementara itu pada prosentase penambahan bottom ash sebesar 50% dan 62,5% mengalami penurunan nilai kepadatan maksimum. Penurunan nilai kepadatan maksimum yang diakibatkan oleh semakin besar penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif, maka yang terjadi ikatan antara tanah dan *bottom ash* membentuk banyak gumpalan. Gumpalan-gumpalan inti akan membentuk pori-pori cukup besar yang akan terisi oleh udara dan air. Keadaan tersebut berdampak pada menurunnya nilai kepadatan maksimum pada campuran tanah dan bottom ash.

F. Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kadar Air Optimum ($w_{c_{opt}}$)

Tabel 4.6 Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kadar Air Optimum ($w_{c_{opt}}$)

Penambahan Bottom Ash (%)	Nilai Kadar Air Optimum ($w_{c_{opt}}$) (%)
0	22,5
12,5	21,5
25	20,5
37,5	19,5
50	23,0
62,5	25,5

Sumber: Hasil Laboratorium



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah *Bottom ash* pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kadar Air Optimum ($w_{c_{opt}}$)

Menurunnya nilai kadar air optimum ($w_{c_{opt}}$) karena ier lebih dominan berikatan dengan bottom ash, sehingga tanah lebih sedikit mengikat air. Penurunan ini hanya terjadi pada penambahan

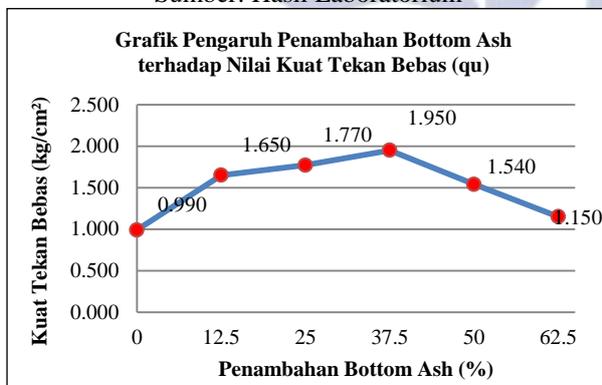
bottom ash dengan prosentase 12,5% sampai 37,5%. Selain itu penambahan bottom ash pada prosentase 50% dan 62,5% mengalami kenaikan kadar air optimum. Hal ini disebabkan karena ikatan antara tanah lempung ekspansif dengan *bottom ash* menghasilkan gumpalan. Pada gumpalan tersebut terjadilah pori-pori yang terisi oleh udara dan air. Air yang mengisi pori-pori campuran tanah tersebut mengakibatkan meningkatnya kadar air optimum. Maka dapat disimpulkan semakin banyak prosentase penambahan bottom ash pada tanah lempung ekspansif semakin banyak pula pori-pori yang terbentuk di dalamnya sehingga semakin banyak pula air yang dibutuhkan.

G. Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u)

Tabel 4.7 Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u)

Penambahan Bottom Ash (%)	Nilai Kuat Tekan Bebas (kg/cm^2)	Konsistensi Tanah
0	0,990	Menengah
12,5	1,650	Kaku
25	1,770	Kaku
37,5	1,950	Kaku
50	1,540	Kaku
62,5	1,150	Kaku

Sumber: Hasil Laboratorium



Gambar 4.7 Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u)

Dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.7 dapat dilihat nilai kuat tekan bebas pada campuran tanah lempung ekspansif dengan penambahan *bottom ash* lebih dari 37,5% mengalami penurunan terhadap nilai kuat tekan bebas. Ditinjau dari tabel 2.6 hasil nilai kuat tekan bebas pada penambahan *bottom ash* 12,5% sampai 62,5% termasuk pada konsistensi tanah lempung kaku.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik pengaruh penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif terhadap nilai kuat tekan bebas. Dapat dilihat pada gambar tersebut persentase penambahan *bottom ash* berturut-turut sebesar 12,5%, 25% dan

37,5% mengalami peningkatan nilai kuat tekan bebas. Namun, pada penambahan *bottom ash* sebesar 50% dan 62,5% nilai kuat tekan mengalami penurunan. Nilai kuat tekan bebas terbesar terletak pada penambahan *bottom ash* sebesar 37,5%.

Hal ini dikarenakan pada saat pemadatan tanah untuk pembuatan benda uji kuat tekan bebas, pori-pori tanah akan terisi penuh dengan *bottom ash* dan air dengan kadar air optimum. Sehingga kondisi benda uji pada penambahan *bottom ash* sebesar 37,5% menghasilkan nilai kuat tekan bebas terbesar yaitu sebesar 1,950 kg/cm^2 . Adapun meningkatnya nilai kuat tekan bebas disebabkan oleh meningkatnya Nilai Kepadatan Maksimum ($\gamma_{d_{maks}}$).

Sementara itu pada persentase penambahan *bottom ash* sebesar 50% dan 62,5% mengalami penurunan nilai kuat tekan bebas. Penurunan nilai tekan bebas yang diakibatkan oleh semakin besarnya penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif, maka yang terjadi ikatan antara tanah dan *bottom ash* membentuk banyak gumpalan. Gumpalan-gumpalan ini akan membentuk pori-pori cukup besar yang disebabkan oleh sebagian unsur penyusun *bottom ash* berupa besi (Fe) yang tidak terikat oleh air akan terisi oleh udara dan air. Keadaan tersebut berdampak pada menurunnya nilai kuat tekan pada campuran tanah lempung ekspansif dan *bottom ash*.

H. Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Kuat Daya Dukung Pondasi Dangkal (q_{ult})

Untuk melakukan perhitungan daya dukung pondasi dangkal pada penelitian ini, direncanakan menggunakan pondasi keruntuhan gepser setempat yang berbentuk bujur sangkar dengan dimensi lebar 1,5m dan kedalaman pondasi 1,5m. Rumus yang digunakan pada perhitungan daya dukung ini menggunakan rumus Terzaghi sebagai berikut:

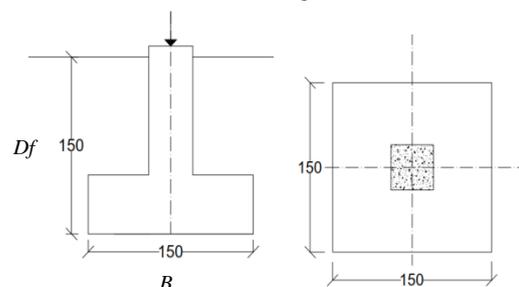
$$c' = \frac{2}{3} c$$

$$q'_{ult} = 1,3 c' . N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma}'$$

$$q \text{ ijin} = \frac{q_{ult}}{F_s}$$

$$Q = q \text{ ijin} \times A$$

Direncanakan pondasi dangkal berbentuk bujur sangkar yang berada pada tanah lempung dengan dimensi dan ketentuan sebagai berikut :



Gambar 4.8 Pondasi yang Direncanakan

Tabel 4.8 hasil rangkuman perhitungan daya dukung pondasi dangkal

Penambahan Bottom Ash (%)	qu	c'	yd	Gs
0	9,9	3,3	1,485	2,729
12,5	16,5	5,5	1,492	2,684
25	17,7	5,9	1,509	2,627
37,5	19,5	6,5	1,536	2,576
50	15,4	5,1	1,461	2,538
62,5	11,5	3,8	1,405	2,490

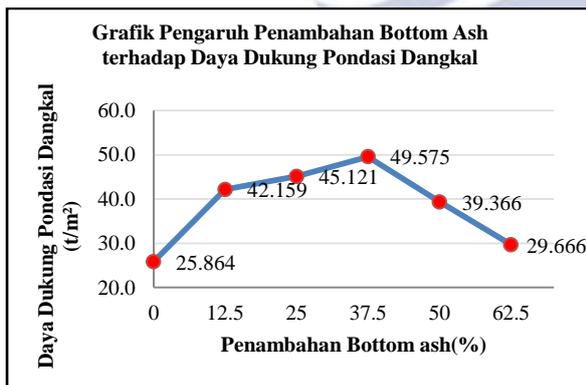
Tabel 4.9 hasil rangkuman perhitungan daya dukung pondasi dangkal

Penambahan Bottom Ash (%)	e	ysat	y'	q'ijin	Q
0	0,838	1,942	0,941	8,621	19,398
12,5	0,799	1,936	0,936	14,053	31,619
25	0,741	1,935	0,935	15,040	33,841
37,5	0,677	1,940	0,940	16,525	37,181
50	0,737	1,885	0,885	13,122	29,524
62,5	0,772	1,841	0,841	9,889	22,250

Tabel 4.10 Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal (q_{ult})

Penambahan Bottom Ash (%)	Daya Dukung (t/m^2)	Peningkatan (%)
0	25,864	0
12,5	42,159	63,00
25	45,121	74,45
37,5	49,575	91,67
50	39,366	52,20
62,5	29,666	14,70

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.8. Grafik Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal (q_{ult})

Ditinjau dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.8 dapat dilihat nilai daya dukung pondasi dangkal dengan penambahan *bottom ash* sebesar 0% adalah 25,864 t/m^2 . Adapun penambahan *bottom ash* sebesar 12,5%, 25%, dan 37,5% berturut-turut mengalami kenaikan nilai daya dukung pondasi dangkal. Sedangkan pada persentase penambahan *bottom ash* sebanyak 50% dan 62,5% menunjukkan adanya penurunan nilai daya

dukung pondasi dangkal. Penurunan nilai daya dukung pondasi dangkal yang diakibatkan oleh semakin besarnya penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif, maka yang terjadi ikatan antara tanah dan *bottom ash* membentuk banyak gumpalan. Gumpalan-gumpalan ini akan membentuk pori-pori cukup besar yang disebabkan oleh sebagian unsur penyusun *bottom ash*.

Maka nilai daya dukung pondasi dangkal optimum pada penelitian ini terdapat pada penambahan *bottom ash* 37,5% sebesar 49,575 (t/m^2) atau meningkat sebesar 91,67%. Dengan demikian penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif memiliki pengaruh pada nilai daya dukung pondasi dangkal yang disebabkan oleh jumlah penambahan *bottom ash*.

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan penambahan *bottom ash* pada tanah lempung ekspansif dapat mempengaruhi hasil nilai daya dukung pondasi dangkal yang disebabkan oleh besaran jumlah penambahan *bottom ash*. Pada kondisi awal tanpa dilakukan penambahan *bottom ash* memiliki nilai daya dukung pondasi dangkal sebesar 25,864 t/m^2 .

Pada penelitian ini diperoleh pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap nilai daya dukung pondasi dangkal optimum pada persentase penambahan *bottom ash* sebesar 37,5% dengan nilai daya dukung pondasi dangkal sebesar 49,575 t/m^2 yaitu mencapai peningkatan sebesar 91,67%. Jadi dapat disimpulkan penambahan *bottom ash* sampai dengan 37,5% pada tanah lempung ekspansif maka nilai daya dukung pondasi dangkal meningkat, sedangkan pada penambahan *bottom ash* sebesar 50% dan 62,5% nilai daya dukung pondasi dangkal mengalami penurunan yaitu sebesar 39,366 t/m^2 dan 29,666 t/m^2 atau mengalami peningkatan sebesar 52,20% dan 14,70% dari keadaan tanah ekspansif tanpa penambahan *bottom ash*.

B. Saran

Berdasarkan pada penelitian ini maka saran yang diambil meliputi :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk pemanfaatan *bottom ash* dari produk industri lainnya dengan tujuan untuk mengatasi permasalahan tanah ekspansif lainnya pada tanah lempung di daerah yang sama atau berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk variasi waktu pemeraman sehingga dapat dilihat perbandingan yang diakibatkan jika waktu pemeraman lebih atau kurang 24 jam.
3. Perlu dilalukukan penelitian ulang tentang pemanfaat limbah *bottom ash* yang dihasilkan oeh PT. Wilmar Nabati Indonesia Gresik untuk permasalahan tanah di daerah lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, Anas, dkk. 2011. Menulis Ilmiah: Buku Ajar MPK Bahasa Indonesia. Surabaya: UNESA University Press
- Ali Marta , Firmansya. 2015. Pengaruh penambahan Limbah Baja pada Tanah Lempung di Daerah Sarirejo Lamongan Terhadap Potensial Swealling. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Bowles, Joseph E. 1984. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B., Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1, 1985, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B., Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2, 1985, Erlangga, Jakarta..
- Hapsoro. 1996. Stabilisasi Tanah Lempung dengan Menggunakan Campuran Abu Terbang dan Geosta. Media Teknik. Edisi Desember
- Hosiya, J. dan Mandal. 1984. Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Bubuk Logam (aluminium dan besi tuang). Journal of Geotechnical Engineering. Vol 110 no 110. ASCE
- Hardiyatmo, hary C. 2012. Mekanika Tanah I Edisi Enam. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary C. 2014. Tanah Ekspansif Permasalahan dan Penanganan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ingles, O.G., dan Metcalf, J.B., 1972, Soil Stabilization, Butterworths, Sydney.
- Ridwan, Machfud dan Nur Andajani. 2012. Petunjuk Praktek Mekanika Tanah I. Buku tidak diterbitkan. Surabaya: UNESA
- Ridwan, Machfud dan Nur Andajani. Petunjuk Praktek Mekanika Tanah II. Buku tidak diterbitkan . Surabaya: UNESA
- Santoso, Indriani dan Salil Kumar. 2003. Pengaruh Penggunaan Bottom ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. Universitas Kristen Petra. (online). (<http://puslit.petra.ac.id/journals/civil/>)
- Suryawan. 2012 “Pengaruh Penambahan *Clean Set Cement* Terhadap *Potential Swelling* Pada Tanah Lempung Kembang-Susut”. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya
- Tim Penyusun. 2014. Pedoman Penulisan Skripsi. Surabaya
- Wesley, Laurence D., Terjemahan Satyawan Pranyoto. 2012, Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu. Yogyakarta: Andi