

PEMANFAATAN *FLY ASH* UNTUK STABILISASI TANAH DASAR LEMPUNG EKSPANSIF

Elsy E. Hangge¹ (elsy@staf.undana.ac.id)
Rosmiyati A. Bella² (pollo.rossy@gmail.com)
Martha C. Ullu³ (marthaullu13@gmail.com)

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah salah satu jenis tanah dasar yang daya dukungnya rendah. Tanah jenis ini dapat diperbaiki dengan metode stabilisasi. Pada penelitian ini digunakan sampel tanah dari Desa Oebelo, kapur dan *fly ash* sebagai bahan stabilisasinya dengan tujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanis tanah serta daya dukung tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *fly ash* dengan variasi campuran kapur 5% (tetap) dan *fly ash* 10%, 15%, 20% dan 25%. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, berupa pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah di laboratorium. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *fly ash* untuk mengetahui kuat dukung maksimum yang dihasilkan melalui pengujian CBR (California Bearing Ratio). Seiring penambahan persentase kapur dan *fly ash*, nilai dari beberapa parameter yaitu berat jenis tanah, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum dan potensi pengembangan tanah mengalami penurunan, sedangkan parameter batas susut, berat volume kering tanah padat dan nilai CBR mengalami peningkatan. Perubahan yang lain adalah pada variasi campuran kapur 5% dan *fly ash* 25% dengan pemeraman 7 hari terjadi penurunan pada nilai pengembangan tanah sebesar 69,34% dan peningkatan pada nilai CBR (soaked) sebesar 620,56%.

Kata Kunci : Tanah Dasar, Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, *Fly ash*, Potensi Pengembangan Tanah, California Bearing Ratio (CBR).

ABSTRACT

Expansive clay soil is one type of subgrade with low bearing capacity. This type of soil can be improved by the stabilization method. This research used soil samples from Oebelo Village, lime and fly ash as stabilization materials with the aim to determine changes in physical and mechanical characteristics of the soil and the bearing capacity of soil stabilized with lime and fly ash with the mixture variation of lime 5% (fixed) and fly ash 10%, 15%, 20% and 25%. The method used in this research is the observation method, in the form of the physical and mechanical characteristics testing of the soil in the laboratory. The testing is carried out on natural soil and stabilized soil with lime and fly ash to determine the maximum bearing capacity produced with the CBR (California Bearing Ratio) testing. Along with the addition of lime and fly ash percentage, the value of some parameters, that are: specific gravity, liquid limit, plastic limit, plasticity index, optimum moisture content and swelling potential have decreased, while the parameters of shrinkage limit, dry weight of solid soils and CBR have experienced increased. Other changes are on the mixture of 5% of lime and 25% of fly ash with a curing time of 7 days, the value of swelling potential has decreased by 69,34% and the value of CBR (soaked) has increased by 620,56%.

Key Words : Subgrade, Expansive clay, Soil Stabilization, *Fly ash*, Swelling Potential Soil, California Bearing Ratio (CBR).

¹ Program Studi Teknik Sipil, FST Undana;

² Program Studi Teknik Sipil, FST Undana;

³ Program Studi Teknik Sipil, FST Undana.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah dasar adalah pondasi bagi perkerasan jalan, di mana tanah dasar menerima beban kendaraan yang disalurkan dari perkerasan jalan. Sebagai pondasi bagi perkerasan jalan, maka tanah dasar harus mempunyai kekuatan atau daya dukung terhadap beban kendaraan agar perkerasan tidak mengalami deformasi dan retak. Salah satu jenis tanah dasar yang daya dukungnya rendah adalah jenis tanah lempung. Dilihat dari sifat kembang susutnya, lempung dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu lempung ekspansif dan non-ekspansif. Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air tanah, sedangkan tanah lempung non-ekspansif tidak sensitif terhadap perubahan kadar air, artinya kembang susutnya kecil apabila terjadi perubahan kadar air (Apriyanti, 2014). Tanah dasar yang daya dukungnya rendah dapat diperbaiki dengan metode stabilisasi. Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar agar daya dukung tanah tersebut menjadi lebih baik sehingga tanah menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi diatas tanah.

Oebelo merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif (Fernandez, 2007; Sonbay, 2010; Bella, dkk 2015). Oleh karena tanah di Desa Oebelo merupakan jenis tanah lempung ekspansif, maka perlu untuk distabilisasi. Stabilisasi dilakukan dengan menambahkan bahan tambahan seperti, kapur dan *fly ash*. Menurut Das (1994), bila *fly ash* digunakan sebagai bahan stabilisasi sebaiknya dicampur dengan kapur. Stabilisasi untuk badan jalan akan lebih efektif jika perbandingan campuran antara *fly ash* dan kapur adalah (10 – 30)% untuk *fly ash* dan (2 – 10)% untuk kapur.

Berdasarkan penelitian terdahulu (Tallama (2010), Indera (2017), Apriyanti (2014)), penambahan *fly ash* dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanis tanah. *Fly ash* memiliki sifat pozzolanic dan cementious. Namun pada *fly ash* kelas F hanya memiliki sifat pozzolanic dan untuk memberikan sifat cementious maka *fly ash* perlu dicampur dengan bahan tambahan seperti kapur. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam proyek-proyek konstruksi jalan dengan berbagai macam jenis tanah, mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah ekspansif. Kapur bereaksi dengan air tanah sehingga merubah sifat tanahnya, mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah. Sifat ekspansif yang menyusut dan mengembang karena kondisi airnya akan berkurang secara drastis karena butir kapur. Dengan melihat ketersediaan kapur dan *fly ash* di Kabupaten Kupang, maka usaha stabilisasi tanah dapat memanfaatkan potensi tersebut.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh perubahan sifat fisik dan mekanis serta kuat dukung tanah dasar lempung ekspansif yang distabilisasi dengan menggunakan kapur dan *fly ash*.
2. Mengetahui kuat dukung maksimum yang dihasilkan pada stabilisasi tanah dasar lempung ekspansif dengan campuran kapur dan *fly ash*.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Tanah

Secara umum, pengertian tanah dari sudut pandangan teknik merupakan kumpulan material yang terdiri dari agrerat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat dan bahan-bahan organik yang telah lapuk serta air dan udara yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 2009). Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah,

merupakan hasil pelapukan dari batuan. Pelapukan batuan merupakan suatu proses terurainya batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat adanya proses mekanis dan kimia.

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas (Das, 2009). Sistem klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS).

Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral mineral lempung (clay minerals) dan mineral-mineral lain yang sangat halus. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Dari segi mineral, yang disebut tanah lempung ialah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang "menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air" (Grim, 1953) dalam Das 2009. Jadi dari segi mineral, tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (non-clay soils) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil, tetapi umumnya mereka tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah karena tidak mengandung mineral lempung.

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air tanah. Pengaruh susut pada tanah-tanah berbutir halus menjadi masalah penting dalam masalah teknis. Retak akibat susut dapat muncul secara lokal, jika tekanan kapiler melampaui kohesi atau kuat tarik tanah. Retak-retak ini, bagian dari makrostruktur lempung dan merupakan zona-zona lemah yang secara signifikan mereduksi kekuatan masa tanah secara keseluruhan, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas lereng lempung dan kapasitas dukung fondasi. Retak akibat pengeringan permukaan yang sering dijumpai pada lempung lunak dapat berpengaruh jelek, misalnya pada struktur perkerasan jalan yang dibangun di atasnya. Susut dan retak akibat susut disebabkan oleh penguapan permukaan saat musim panas, penurunan muka air tanah, dan isapan akar tumbuh-tumbuhan. Ketika musim hujan, tanah mendapatkan air lagi, mengakibatkan volume tanah bertambah dan mengembang. Perubahan volume akibat proses kembang susut sering merusakkan bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan raya (Hardiyatmo, 2006).

Pengujian Sifat Fisik Tanah

Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dalam contoh tanah dengan berat butiran pada volume tanah yang diselidiki (Das, 2009). Rumus untuk menghitung kadar air adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

di mana :

- W = Kadar air (%)
- W_w = Berat air (gram)
- W_s = Berat butiran padat (gram)

Specific Gravity (Gs)

Berat jenis tanah (Gs) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat partikel tanah (γs), dengan berat volume air (γw) (Hardiyatmo, 2006) seperti yang ditunjukkan pada persamaan :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \tag{2}$$

di mana :

- G_s = *specific gravity*
- γ_s = berat volume butiran padat (gram/cm³)
- γ_w = berat volume air pada temperatur 4⁰c (gram/cm³)

Batas-Batas Konsistensi (Atterberg)

Batas – batas konsistensi tanah didasarkan pada kadar airnya. Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana terjadi transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah di mana tanah masih bersifat plastis. Batasan nilai indeks plastisitas, sifat tanah, macam tanah dan kohesi diberikan oleh *Atterberg* (1953, dalam Hardiyatmo 2006) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Indeks Plastisitas Dan Macam Tanah

Indeks Plastisitas	Sifat tanah	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Gradasi butiran tanah

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu analisis ayakan (untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,075 mm) dan analisis *hydrometer* (untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm).

Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Uji Pemadatan

Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering (γd) dengan berat volume basah (γb) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \tag{3}$$

di mana:

- γ_d = berat volume kering (gram/cm³)
- γ_b = berat volume basah (gram/cm³)
- w = kadar air (%)

California Bearing Ratio (CBR)

Berdasarkan Turnbull (1968) dan The Asphalt Institute (1970) diketahui kriteria umum Batasan nilai CBR untuk material tanah dasar ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria umum CBR untuk material tanah dasar

Nilai CBR (%)	Kriteria Material Tanah Dasar	
	Turnbull (1968)	The Asphalt Institute (1970)
20 – 30	Verry Good	Excellent
20 – 10	Good to Fair	Good
10 – 50	Questionable to Fair	Medium
< 5	Poor	Poor

California bearing ratio merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan dengan beban standar yang dinyatakan dalam presentase dan dinyatakan dengan persamaan:

$$CBR = \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \tag{4}$$

di mana:

- CBR = Perbandingan antara beban percobaan dengan beban standar (%)
- P_T = Beban percobaan (inci)
- P_S = Beban standar (inci)

Pengujian Pengembangan Tanah

Pengujian pengembangan (*swelling*) dilakukan sebelum pengujian CBR di mana tanah yang telah dipadatkan pada pengujian CBR diperam selama 7 hari dalam kantong plastik bening untuk memberikan waktu pada campuran tanah lempung – kapur – *fly ash* bereaksi, kemudian benda uji ini dikeluarkan untuk dilakukan perendaman selama 4 hari (96 jam) untuk memodelkan kondisi di lapangan pada waktu hujan, di mana pada benda uji dipasang keeping pengembangan dan diberikan beban standar seberat 4,5 kg atau 10 lb selain itu dipasang arloji pengukur pengembangan (Hardiyatmo, 2006). Persamaan nilai pengembangan dinyatakan:

$$Pengembangan = \frac{tinggi\ akhir - tinggi\ awal}{tinggi\ awal} \times 100\% \tag{5}$$

Altmeyer (1955) membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase batas susut Atterberg seperti yang tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi Derajat Mengembang Tanah Berdasarkan Batas Susut

Batas Susut Atterberg (%)	Derajat Mengembang
< 10	Kritis
10 – 12	Sedang
>12	Tidak Kritis

Seed et al (1962) mengklasifikasikan derajat ekspansif tanah berdasarkan nilai potensi pengembangan tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Klasifikasi Derajat Ekspansif Berdasarkan Nilai Potensi Pengembangan

Derajat Ekspansif	Potensi Pengembangan, S (%)
Rendah	0 – 1,5
Sedang	1,5 – 5
Tinggi	5 – 25
Sangat Tinggi	> 25

Chen (1975) juga mengklasifikasikan potensi pengembangan tanah berdasarkan nilai indeks plastisitas seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Hubungan Potensi Pengembangan dengan Nilai Indeks Plastisitas

Potensi Pengembangan	Indeks Plastisitas (IP)
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat tinggi	>55

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar agar daya dukung tanah tersebut menjadi lebih baik sehingga tanah menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi diatas tanah. Metode-metode stabilisasi yang dikenal adalah stabilisasi mekanis, stabilisasi kimiawi, stabilisasi mineral dan stabilisasi hidraulis. Stabilisasi mekanis adalah penambahan kekuatan dan daya dukung tanah dengan jalan mengatur gradasi tanah yang dimaksud. Usaha ini biasanya menggunakan sistem pemadatan. Pemadatan dapat dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan tekanan tanah statis dan sebagainya (Bowles, 1991).

Stabilisasi tanah secara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah disebut stabilizing agent karena setelah diadakan pencampuran menyebabkan terjadinya stabilisasi. Bahan stabilisasi ini dapat berupa semen, kapur, *fly ash* serta bahan kimia lainnya seperti HCl, NaCl, dan NaOH.

Fly ash (Abu Terbang)

Fly ash adalah limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. *Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan carbon (Apriyanti, 2014). Menurut ASTM C618 (ASTM 1980, *Annual Books of ASTM Standards*) *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi dalam *fly ash* tersebut. Susunan kimia dan sifat fisik rata-rata abu terbang, ASTM C 618-78 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Susunan Kimia dan Sifat Fisik Rata-rata Fly ash, ASTM C 618-78

Parameter	Fly ash	
	Kelas F	Kelas C
A. Susunan Kimia		
Silikon dioksida (SiO ₂) + alumina oksida (Al ₂ O ₃) + besi oksida (Fe ₂ O ₃) min (%)	70	50
Kalsium Oksida (CaO) (%)	< 10	>20
Magnesium Oksida (MgO) maks (%)	5	5
Sulfur Trioksida (SO ₃) maks (%)	5	5
Hilang pijar maks (%)	12	6
Total alkali Na ₂ O maks (%)	1,5	1,5
Kadar air maks (%)	3	3
B. Sifat-sifat Fisik		
Pemuaian dengan <i>autoclave</i> maks (%)	0,8	0,8
Kehalusan 45 µm maks (%)	34	34

Kapur

Kapur merupakan salah satu material yang cukup efektif untuk digunakan dalam proses stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dengan kapur sangat lazim digunakan dalam proyek-proyek konstruksi jalan dengan berbagai macam jenis tanah, mulai dari tanah lempung biasa sampai tanah ekspansif. Kapur bereaksi dengan air tanah sehingga merubah sifat tanahnya, mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah. Sifat ekspansif yang menyusut dan bembang karena kondisi airnya akan berkurang secara drastis (Sofian, 2018), hal ini karena kapur memiliki sifat – sifat antara lain : mempunyai sifat plastis yang baik, dapat mengeras dengan cepat dan mudah, mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata, mengurangi sifat mengembang dari tanah serta meningkatkan daya dukung dari tanah. Dengan kaitannya dengan *fly ash*, kapur dapat memberikan sifat *cementitious* (kemampuan untuk mengeras dan bertambah kuat apabila bereaksi dengan air) pada *fly ash*.

METODE PENELITIAN

Teknik Pengambilan Data

Teknik Observasi

Teknik observasi yaitu teknik pengambilan data melalui pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana Kupang dan Laboratorium Pengujian dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Teknik Dokumentasi

Teknik dokumentasi yaitu teknik pengambilan data yang diperoleh dengan cara menghimpun teori-teori, rumus-rumus dan ketentuan yang relevan dengan materi penelitian dari buku-buku tertentu. Data yang diperoleh berupa teori dan rumus yang diambil dari buku-buku mekanika tanah serta pengujian tanah di laboratorium.

Studi Literatur

Studi literatur adalah teknik pengambilan data melalui teks-teks tertulis, seperti buku, *e-book*, jurnal, makalah dan lain-lain. Dalam penelitian ini literatur-literatur yang digunakan adalah yang berkaitan dengan mekanika tanah, terutama tentang tanah ekspansif dan stabilisasi tanah.

Tahapan Penelitian

Pengambilan Sampel dan Persiapan Material Benda Uji

Tanah diambil dari lokasi Desa Oebelo Jalan Timor Raya Km.21, pada satu titik dengan kedalaman 50 cm dari permukaan tanah. Sebelum pengujian dimulai, dilakukan persiapan benda uji yaitu tanah ini dikeringkan dengan melakukan penjemuran di bawah terik matahari langsung selama 3 – 4 hari, setelah kering tanah dihancurkan kemudian diayak menggunakan saringan No. 4, 10, dan 40. Bahan yang menjadi campurannya adalah kapur dan *fly ash*.

Pengujian Tanah Asli

Pengujian terlebih dahulu dilakukan terhadap tanah asli untuk mengetahui sifat-sifat fisik yaitu dengan pengujian kadar air, gravitasi khusus (*Specific Gravity*), batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*) dan uji gradasi butiran serta sifat-sifat mekanis yaitu dengan pengujian Pamadatan Standar Proctor, CBR dan potensi pengembangan.

Pembuatan Benda Uji

Membuat campuran tanah, kapur dan *fly ash* dalam beberapa variasi campuran dengan persentase yang telah direncanakan, yaitu berat kapur dan *fly ash* dihitung terhadap berat kering tanah. Variasi campuran kapur dan *fly ash* ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Variasi Campuran Kapur Dan Fly ash Terhadap Berat Kering Tanah Asli

Jenis Sampel	Komposisi
Variasi I	Tanah Asli + 5% Kapur + 10% <i>Fly ash</i>
Variasi II	Tanah Asli + 5% Kapur + 15% <i>Fly ash</i>
Variasi III	Tanah Asli + 5% Kapur + 20% <i>Fly ash</i>
Variasi IV	Tanah Asli + 5% Kapur + 25% <i>Fly ash</i>

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis tanah setelah dicampur dengan bahan-bahan stabilisasi dalam hal ini berupa, kapur dan *fly ash* berdasarkan (ASTM 1980, *Annual Books of ASTM Standards*). Pengujian meliputi:

- a. Uji sifat fisik tanah antara lain:
 - 1) Pengujian berat jenis (ASTM D 854-58)
 - 2) Pengujian distribusi ukuran butiran tanah (ASTM D 2487-69)
 - 3) Pengujian batas-batas *Atterberg* :
 - a) Pengujian batas cair (ASTM D 423-59)
 - b) Pengujian batas plastis (ASTM D 424-59)
 - c) Pengujian batas susut (ASTM D 427-61)
- b. Uji sifat mekanis tanah, antara lain :
 - 1) Pengujian Proctor standar (ASTM D-698)
 - 2) Pengujian CBR (ASTM D 1883-87)
 - 3) Pengujian pengembangan

Pengujian CBR yang dilakukan terdiri atas 4 jenis. Variasi benda uji untuk pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Variasi Benda Uji Untuk Pengujian CBR

Jenis pengujian	Tanah asli	Campuran tanah + kapur+fly ash			
		Tanpa Pemeraman		Dengan Pemeraman (7 hari)	
		Tanpa Rendaman	Dengan Rendaaman (4 hari)	Tanpa Rendaman	Dengan Rendaaman (4 hari)
CBR	2	8	8	8	8
Jumlah			34		

Pengujian CBR dilakukan setelah campuran diperam selama 7 hari dalam kantong plastik bening untuk memberikan waktu pada campuran bereaksi, setelah itu campuran tersebut direndam selama 4 hari untuk memodelkan kondisi di lapangan pada waktu hujan sambil dicatat pengembangan yang terjadi pada benda uji tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Asli

Dari hasil pengamatan secara visual, tanah pada kondisi basah berwarna hitam dan pada kondisi kering berwarna abu-abu kehitaman. Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah asli di laboratorium tercantum pada Tabel 9.

Tabel 9 Karakteristik Tanah Asli

Parameter	Hasil
A. Sifat-sifat fisik	
Kadar air (w)	26,27 %
Berat spesifik (<i>Specific Gravity</i>)	2,68
Batas cair (<i>Liquid Limit</i>)	90,38 %
Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>)	37,29 %
Batas susut (<i>Shrinkage Limit</i>)	8,37 %
Indeks plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)	53,09 %
Butiran lolos sarongan No. 200 (butiran halus)	76,17 %
B. Sifat-sifat mekanis	
Kadar air optimum	28,69 %
Berat volume kering maksimum	1,29 gr/cm ³
Nilai pengembangan	4,11 %
CBR terendam (<i>soaked</i>)	1,07 %
CBR tak terendam (<i>unsoaked</i>)	1,34 %

Klasifikasi Tanah Asli

Berdasarkan sistem klasifikasi AASTHO tanah ini tergolong ke dalam kelompok A-7-6 (41) yang merupakan tanah berlempung dan dengan nilai GI yang besar, tanah jenis ini dikategorikan buruk sebagai lapisan tanah dasar. Menurut *Unified Soil Classification System (USCS)* jenis tanah ini tergolong ke dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Stabilisasi Tanah dengan Kapur dan Fly ash

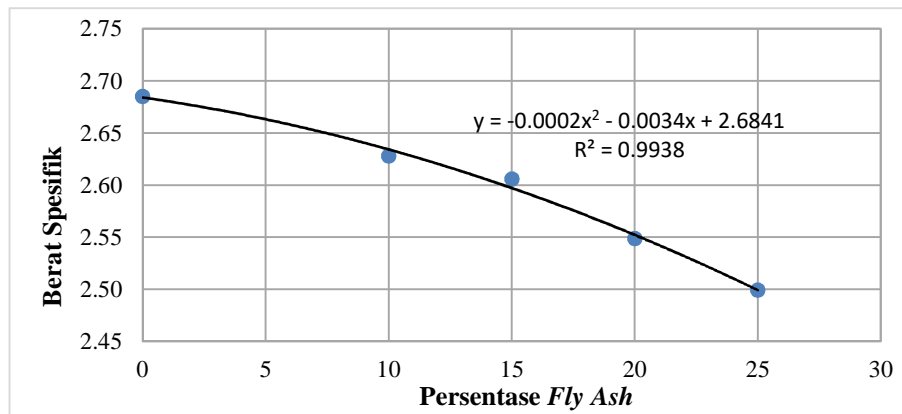
Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah setelah distabilisasi dengan kapur dan fly ash dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 10 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Setelah Distabilisasi dengan Kapur dan Fly ash

No	Pengujian	Variasi Campuran Kapur dan Fly ash			
		I	II	III	IV
1	Berat Spesifik	2,63	2,61	2,55	2,50
2	Butiran lolos saringan No. 200 (%)	75,06	74,03	72,20	68,75
3	Batas Cair (%)	74,97	62,70	54,47	44,30
4	Batas Plastis (%)	35,50	34,50	32,77	31,97
5	Batas Susut (%)	13,32	17,50	21,90	27,04
6	Indeks Plastisitas (%)	39,47	28,20	21,69	12,33
7	Kadar air Optimum (%)	27,84	26,47	25,26	24,19
8	Berat Volume Kering Maksimum (gr/cm ³)	1,31	1,33	1,35	1,37
9	Nilai Pengembangan Tanpa Pemeraman (%)	3,73	2,77	2,06	1,75
10	Nilai Pengembangan Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	3,54	2,33	1,83	1,26
11	CBR Terendam Tanpa Pemeraman (%)	2,28	3,55	5,09	7,41
12	CBR Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari (%)	2,65	3,72	5,50	7,71
13	CBR Tak Terendam Tanpa Pemeraman	3,09	4,09	6,04	7,98
14	CBR Tak Terendam Dengan Pemeraman 7 Hari	3,42	4,69	6,30	8,44

Berat Spesifik (GS)

Nilai berat spesifik mengalami penurunan seiring penambahan persentase fly ash. Persentase penurunan nilai berat spesifik tanah setelah yang distabilisasi dengan persentase kapur 5% (tetap) dan persentase fly ash 10%, 15%, 20% dan 25% terhadap tanah asli berturut-turut adalah 1,87%, 2,61%, 4,85% dan 6,72%. Pengaruh penambahan kapur dan persentase fly ash terhadap nilai berat spesifik dapat dilihat pada Gambar 1.

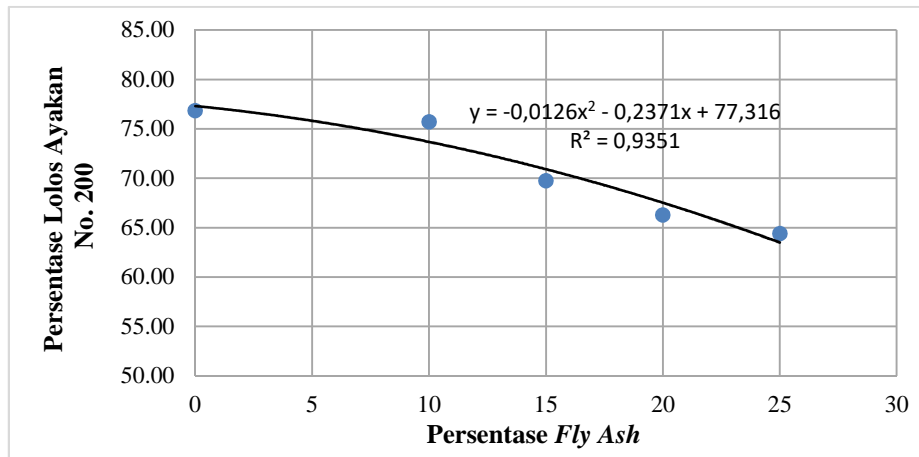


Gambar 1 Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5% dan Variasi Fly ash Terhadap Nilai Berat Spesifik (Gs)

Penurunan ini disebabkan karena perbedaan berat spesifik. Ketika tanah dicampur dengan kapur dan fly ash terjadi perubahan tekstur tanah di mana partikel-partikel tanah menjadi menggumpal, sehingga partikel tanah memiliki ukuran yang lebih besar sehingga menyebabkan penurunan nilai berat spesifik (Ningsih, 2014).

Gradasi Butiran Tanah

Berdasarkan hasil pengujian tanah setelah distabilisasi diketahui bahwa jumlah butiran halus (lolos ayakan No. 200) berkurang. Butiran lempung berkurang seiring penambahan persentase kapur dan *fly ash*. Persentase penurunan butiran lempung pada tanah setelah distabilisasi dengan persentase kapur 5% (tetap) dan persentase *fly ash* 10%, 15%, 20% dan 25% terhadap tanah asli berturut-turut adalah 1,46%, 2,81%, 5,21% dan 9,74%.

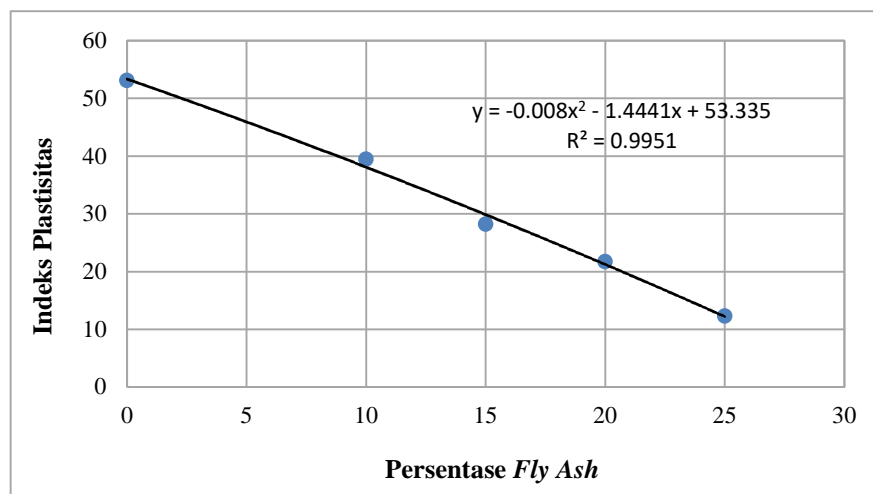


Gambar 2 Grafik Perbandingan Hasil Analisis Saringan Dan Hidrometer Pada Tiap Variasi Campuran Kapur dan Fly ash

Batas-batas Konsistensi Tanah

Hasil pengujian batas-batas konsistensi menunjukkan terjadinya perubahan nilai-nilai batas konsistensi seiring dengan penambahan variasi kadar *fly ash* yaitu : nilai batas cair mengalami penurunan, nilai batas plastis mengalami penurunan, nilai batas susut mengalami kenaikan dan nilai indeks plastisitas mengalami penurunan. Penurunan nilai indeks plastisitas yang terjadi pada tanah setelah distabilisasi dengan persentase kapur 5% (tetap) dan persentase *fly ash* 10%, 15%, 20% dan 25% terhadap tanah asli berturut-turut adalah 25,65%, 46,88%, 59,15% dan 76,78%. Menurunnya nilai indeks plastisitas menunjukkan berkurangnya butiran lempung. Nilai indeks plastisitas tanah asli menunjukkan bahwa tanah asli memiliki sifat plastisitas yang tinggi, namun setelah distabilisasi dengan kapur dan *fly ash* nilai indeks plastisitas menurun dan membuat sifat plastisitas tanah yang awalnya tinggi menjadi sifat plastisitas sedang pada variasi IV. Pengaruh penambahan kapur dan *fly ash* terhadap nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Gambar 3.

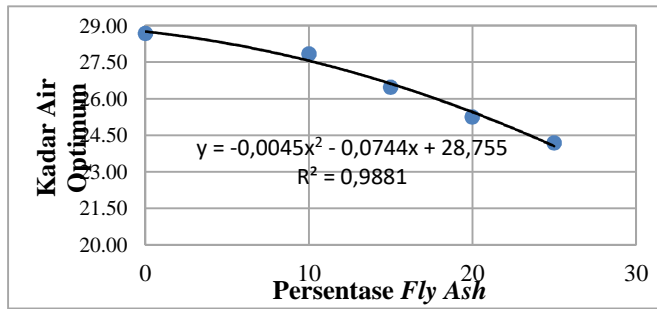
Gambar 3 Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5% dan Variasi



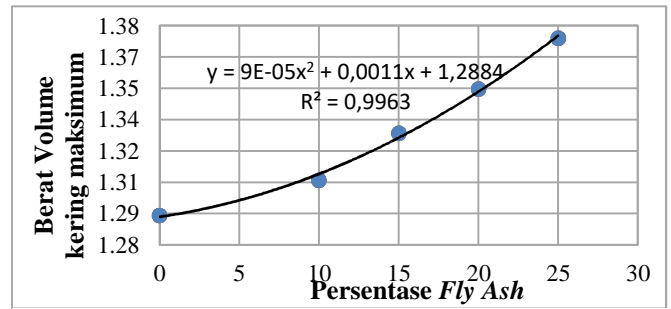
Fly ash Terhadap Nilai Indeks Plastisitas

Pemadatan Standar Proctor

Hasil pengujian pemadatan standar *Proctor* menunjukkan terjadinya penurunan nilai kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum.



Gambar 4a. Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Fly Ash Terhadap Kadar Air Optimum

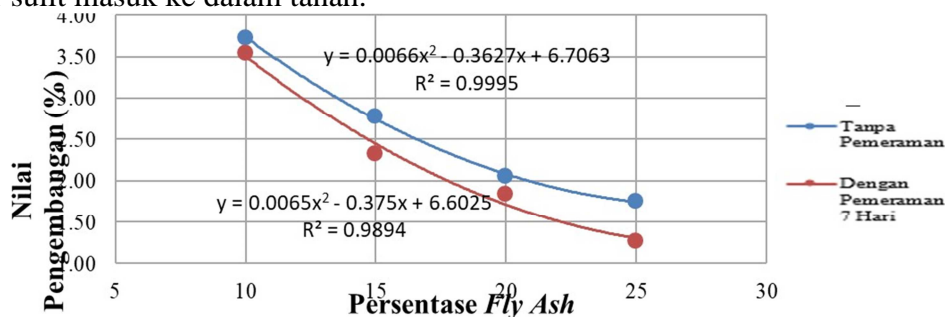


Gambar 4b. Grafik Pengaruh Penambahan Variasi Fly Ash Terhadap Berat Volume Kering Maksimum

Penurunan kadar air optimum dan kenaikan berat volume kering maksimum karena sifat kapur yang dapat memancarkan panas yang menyebabkan tanah asli menjadi cepat kering akibat proses hidrasi (Sosrodarsono, 2000). Hal inilah yang menyebabkan kadar air mengalami penurunan. Berat volume kering maksimum mengalami peningkatan karena campuran kapur dan *fly ash* menyebabkan bertambahnya ikatan antara partikel tanah. Kapur dan *fly ash* mempunyai ukuran butiran yang halus sehingga dapat mengisi rongga antara partikel tanah sehingga membentuk tekstur tanah yang semakin padat.

Potensi Pengembangan Tanah

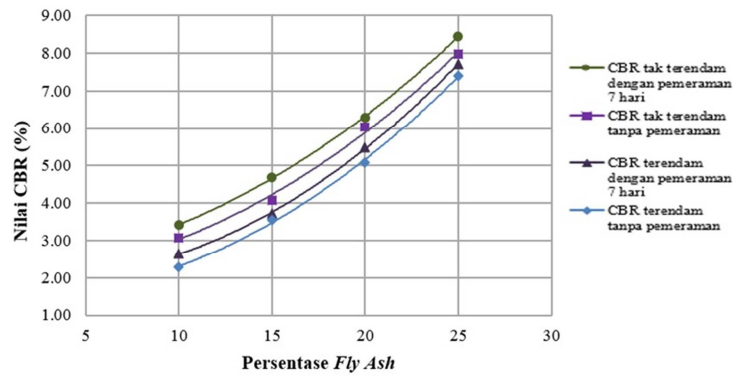
Laju pengembangan tanah yang terjadi pada tanah asli lebih cepat dibandingkan tanah setelah distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa air lebih mudah masuk ke dalam tanah asli daripada tanah dengan campuran kapur dan *fly ash*. *Fly ash* berfungsi sebagai *filler* sehingga mengisi rongga kosong antar butiran tanah dan membuat tanah menjadi lebih padat. Kapur memberikan sifat *cementitious* pada *fly ash* yang mengakibatkan tanah menjadi lebih padat dan keras sehingga air sulit masuk ke dalam tanah.



Gambar 5 Grafik Pengaruh Penambahan Kapur 5% dan Variasi Fly ash Terhadap Nilai Pengembangan Serta Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai Pengembangan

California Bearing Ratio

Dari 4 model pengujian CBR, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai CBR seiring penambahan persentase *fly ash*. Nilai CBR mengalami peningkatan seiring penambahan persentase *fly ash*. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai CBR dikarenakan adanya reaksi *pozzolanic* yang mengakibatkan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah sehingga menjadikan tanah lebih keras dan kaku. Keadaan tanah yang keras dan kaku seperti inilah yang menjadikan nilai CBR menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai CBR tanah asli.

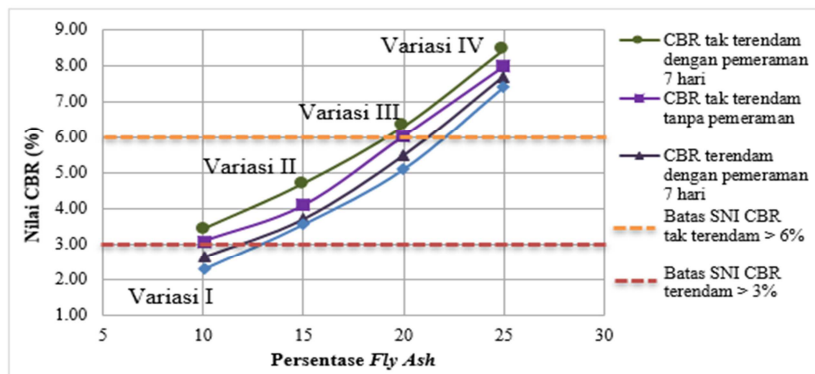


Gambar 6 Grafik Perbandingan 4 model pengujian CBR Pada Tiap Variasi Campuran Kapur dan Fly ash

Nilai CBR tak terendam lebih besar daripada nilai CBR terendam. Hal ini akibat dari peningkatan kadar air pada sampel tanah saat terendam yang menyebabkan semakin lemahnya daya dukung tanah. Penurunan nilai CBR terendam dibandingkan dengan CBR tak terendam dikarenakan kadar air berlebih pada sampel sehingga saat pembebanan air tersebut keluar dan nilai CBR yang dihasilkan lebih rendah.

Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dapat diketahui melalui pengujian CBR. Menurut SNI 03-1732-1989 syarat nilai kekuatan CBR untuk tanah dasar, yaitu CBR dalam kondisi terendam adalah >3% sedangkan untuk nilai CBR dalam kondisi kering adalah >6%. Nilai CBR pada Variasi IV memenuhi kedua syarat nilai CBR, karena nilai CBRnya >6% dalam keadaan terendam (dengan atau tanpa pemeraman) dan tak terendam (dengan atau tanpa pemeraman). Nilai CBR paling tinggi dihasilkan pada pengujian CBR tak terendam dengan pemeraman, di mana menghasilkan nilai CBR sebesar 8,44% pada variasi campuran kapur 5% dan fly ash 25% (variasi IV).



Gambar 7 Grafik Syarat Nilai kekuatan CBR menurut SNI 03-1732-1989 Pada 4 Model Pengujian CBR

KESIMPULAN

1. Pada pengujian sifat fisik tanah, tanah di lokasi tersebut menurut sistem klasifikasi USCS tanah termasuk dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi dengan nilai indeks plastisitasnya 53,09%. Berdasarkan pengujian sifat fisik dan mekanis tanah setelah distabilisasi maka diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Nilai berat jenis tanah, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, kadar air optimum dan potensi pengembangan tanah mengalami penurunan seiring penambahan persentase fly ash.
 - b. Nilai batas susut, berat volume kering tanah padat dan nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase fly ash. Nilai pengembangan tanah menurun

- sebesar 69,34% dan nilai CBR (soaked) mengalami peningkatan sebesar 620,56% pada variasi campuran kapur 5% dan *fly ash* 25% dengan pemeraman 7 hari.
2. Nilai CBR paling tinggi dihasilkan pada pengujian CBR tak terendam dengan pemeraman, di mana menghasilkan nilai CBR sebesar 8,44% pada variasi campuran kapur 5% dan *fly ash* 25% (variasi IV).

DAFTAR PUSTAKA

- Altmeyer, W.T. 1955. *Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays*. Proc. AmSoc. CivilEng. 81, New York.
- Apriyanti, Yayuk. 2014. *Peningkatan Nilai CBR Tanah Lempung Dengan Menggunakan Semen Untuk Timbunan Jalan*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil. Universitas Bangka Belitung. Bangka Belitung.
- ASTM, 1980. *Annual Books of ASTM Standards*. American Society for Testing Material, Philadelpia.
- Bella, R, A. 2015. *Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Oebelo*. Jurnal Teknik Sipil Vol. IV No 2. Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Bowles, J. 1984. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.
- Chen, F.H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*, Development in Geotechnical Engineering12, Esevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Das Braja M. 2009. *Principles Of Geotechnical Engineering, 7th Edition*.
- Fernandez, G.J.W. 2007. *Kajian Karakteristik Lempung Bobonaro Di Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Hardiyatmo, Christady, Hary. 2006. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada Unversity. Yogyakarta.
- Indera, Rama. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Menggunakan Fly ash Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas*. Jurnal Fondasi, Volume 6 No 2. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Ningsih, Dessy. 2014. *Pengaruh Penambahan Variasi Tanah Kapur dan Semen Terhadap Potensi Pengembangan Tanah Lempung Desa Niuk Baun Kecamatan Amarasi Barat Kabupaten Kupang*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Sofian,Herewith. 2018. *Stabilisasi Tanah dengan Kapur*. Universitas Tridharma, Balikpapan.
- Sonbay, Albert. 2010. *Kajian Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Desa Oebelo Dengan Garam Dapur Lokal*. Skripsi S-1 Prodi Teknik Sipil. Universitas Nusa Cendana. Kupang.
- Sosrodarsono, Suyono., & Nakazawa, kazuto. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta.
- SNI 03-1732-1989. *Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, Petunjuk Pelaksanaan*.
- Tallama, Djumarno, Astrid. 2010. *Pemanfaatan Bahan Limbah Coal Ash untuk Lapisan Subgrade*. Tesis S-2 Program studi Teknik Sipil. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.