

**PERBAIKAN KAPASITAS SUBGRADE TANAH LEMPUNG
DENGAN ASBUTON JENIS LAWELE GRANULAR
ASPHALT (LGA)**

*IMPROVING THE SUBGRADE CAPACITY OF THE CLAY
SOIL WITH THE ASBUTON TYPE OF LAWELE
GRANULAR ASPHALT (LGA)*

BLEISER TANARI



**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PERBAIKAN KAPASITAS SUBGRADE TANAH LEMPUNG
DENGAN ASBUTON JENIS LAWELE GRANULAR
ASPHALT (LGA)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister Teknik

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan Oleh

BLEISER TANARI

Kepada

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

TESIS

PERBAIKAN KAPASITAS SUBGRADE TANAH LEMPUNG DENGAN ASBUTON JENIS LAWELE GRANULAR ASPHALT (LGA)

Disusun dan diajukan oleh

BLEISER TANARI

Nomor Pokok P2305211401

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 01 Agustus 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D

Ketua

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,

Dr. Ir. H. Nur Ali, MT

Anggota

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bleiser Tanari
Nomor mahasiswa : P2305211401
Program studi : Teknik Sipil
Konsentrasi : Geoteknik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 22 Juli 2013
Yang menyatakan,

Bleiser Tanari

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas selesainya tesis ini.

Gagasan untuk mengambil judul ini timbul dari hasil pengamatan perbaikan tanah menggunakan asbuton yang telah di ekstraksi tapi hanya meningkatkan nilai kekuatan tanah yang relatif kecil sehingga penulis mencoba menggunakan asbuton langsung dari alam dengan harapan kandungan aspal yang terkandung dalam asbuton dapat lebih meningkatkan daya dukung tanah. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti selanjutnya serta merupakan sumbangsih pemikiran perkembangan teknologi perkuatan tanah.

Banyak kendala yang di hadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, berkat bantuan berbagai pihak maka tesis ini dapat selesai. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada bapak Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc.,Ph.D sebagai ketua komisi penasihat dan bapak Dr. Ir. H. Nur Ali, MT sebagai anggota komisi penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitian sampai dengan penulisan tesis ini. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Konsentrasi Geoteknik angkatan 2011. Ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada orang tua tercinta Jacob Tanari (Alm.) dan Naban Palundun (Almh.), isteri Indri Novayanti Gala dan anak Alena

Jillnora Tanari, saudara-saudaraku Yurlin, Yupita, Mobius, Bernoulli, Yeti, Gelder, Yustia dan Yulinda atas doa dan semangatnya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan digunakan untuk pengembangan wawasan serta peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua termasuk penelitian lebih lanjut.

Makassar, Juli 2013

Bleiser Tanari

ABSTRAK

BLEISER TANARI. *Perbaikan Kapasitas Subgrade Tanah Lempung dengan Asbuton Jenis Lawele Granular Asphalt (LGA)* (dibimbing oleh Achmad Bakri Muhiddin dan H. Nur Ali)

Tujuan dari penelitian ini adalah menguji karakteristik komposisi mineral yang terkandung dalam tanah dan LGA serta untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi penambahan LGA pada tanah lempung terhadap perubahan kembang susut dan daya dukung tanah untuk *subgrade*.

Setelah pengujian sifat fisik tanah asli, selanjutnya dilakukan pencampuran tanah lempung dan LGA dengan variasi penambahan LGA sebesar 5%, 10%, 20% dan 30% dari berat tanah asli, kemudian dilakukan uji sifat mekanis campuran yaitu uji CBR *unsoaked*, CBR *soaked*, pengembangan dan kuat tekan bebas serta uji *scanning electron microscope* (SEM)

Hasil penelitian yang dilakukan memperlihatkan bahwa peningkatan tertinggi kekuatan tanah lempung yang distabilisasi dengan LGA terdapat pada kombinasi 70% tanah lempung + 30% LGA yaitu dengan peningkatan nilai CBR *unsoaked* sebesar 84,3% dari CBR *unsoaked* tanah asli dan CBR *soaked* sebesar 300% dari CBR *soaked* tanah asli. Sedangkan nilai kuat tekan bebas untuk kombinasi campuran tersebut sebesar 214% dari nilai kuat tekan bebas tanah asli. Dari hasil pengujian *Scanning electron Microscope* (SEM) 70% tanah lempung + 30% LGA terlihat bahwa kandungan kapur aktif (CaO) dari LGA tidak dapat mengikat tanah lempung sebagaimana pencampuran kapur dan semen karna adanya kandungan aspal.

Kata kunci : *Lempung ekspansif, Lawele granular asphalt, CBR, kuat tekan bebas, scanning electron microscope*

ABSTRACT

BLEISER TANARI. *Improving the Subgrade Capacity of the Clay Soil with the Asbuton of Type Lawele Granular Asphalt (LGA)* (supervised by Achmad Bakri Muhiddin and H. Nur Ali)

The purpose of this study was to examine the characteristics of the mineral composition in the soil and in the LGA, and to find out the effects of the various LGA additions to the clay soil on the soil shrinkage and soil bearing capacity as the subgrade.

After testing the physical characteristics of the original soil, the clay soil is mixed with the LGA at various LGA additions : 5%, 10%, 20%, and 30% of the original clay soil. Then, the test was conducted on the mechanic characteristics of the mixtures, i.e. the tests of their CBR unsoaked, their CBR soaked, their swelling potential and their unconfined compression strength also the scanning electron microscope (SEM) test was carried out.

The research result indicated that the mixture of the clay soil of 70% with the LGA of 30% produced the highest increase of the clay soil strength, i.e. the CBR unsoaked value had had increased to 84.3% of the CBR soaked original clay soil, and the CBR soaked value had increased to 300% of the CBR soaked original clay soil. Meanwhile, the unconfined compression strength value of the above mixture was 214% of the unconfined compression strength of the original clay soil. The result of the scanning electron microscope (SEM) test of the clay soil 70% and the LGA of 30% mixture revealed the active lime (CaO) content of LGA could not bind the clay soil, like chalk and cement mixture, due to its asphalt content.

Keywords : *Expansive clays, Lawele granular asphalt, CBR, unconfined compression strength, scannig electron microscope*

DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Tinjauan Umum	6
B. Lapisan Tanah Dasar (<i>subgrade</i>)	7
C. Klasifikasi Tanah	8
1. Berdasarkan sudut pandang teknis	9
2. Berdasarkan ukuran butir	9

3. Sistem klasifikasi USCS	10
4. Sistem klasifikasi AASHTO	11
D. Tanah Lempung	13
1. Karakteristik umum lempung	13
2. Pengaruh kadar air terhadap perilaku lempung	14
3. Karakteristik lempung expansif	15
4. Instability indeks	19
5. Identifikasi tanah expansif	20
a. Cara Van Der Merwe	21
b. Cara Holz dan Gibbs	22
c. Cara Chen	22
d. Cara Skempton	23
e. Seed dan kawan-kawan	24
E. Stabilisasi Tanah Lempung	25
F. Aspal Buton (Asbuton)	28
G. Penelitian Sifat Fisik Tanah	30
1. Kadar air	31
2. Berat jenis	31
3. Analisis Pembagian Butir (Grain Size Analysis)	32
a. Analisis ayakan	32
b. Analisis hidrometri	32
4. Batas-batas Atterberg	33
a. Batas cair	33

b. Batas plastis	34
c. Indeks plastisitas)	34
H. Penelitian Sifat Mekanik Tanah	34
1. Pemadatan tanah (<i>standart proctor test</i>)	34
2. Kekuatan tekan bebas	36
3. CBR laboratorium	37
4. Swelling (Pengembangan)	39
I. Uji Mikroskopik SEM	40
J. Penelitian Terdahulu	40
BAB III METODE PELAKSANAAN PENELITIAN	45
A. Lokasi Penelitian	45
B. Bahan dan Alat	45
1. Bahan	45
2. Alat	46
C. Bagan Alir Penelitian	46
D. Pekerjaan Laboratorium	48
E. Kombinasi Campuran	48
F. Pengujian Sampel	50
1. Uji sifat fisis tanah	50
2. Uji sifat mekanis tanah	51
3. Uji mikroskopik SEM	52
G. Penyiapan Benda Uji	52
H. Metode Analisis	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Karakteristik Fisis dan Teknis Tanah	56
1. Pengujian analisa butiran tanah	56
2. Pengujian kadar air tanah	58
3. Pemeriksaan berat jenis	59
4. Pengujian batas-batas Konsistensi	59
a. Pengujian batas cair	59
b. Pengujian batas plastis	60
c. Aktifitas tanah berbutir halus	61
B. Karakteristik Kimiawi Tanah Asli dan Asbuton LGA	62
C. Karakteristik Mekanis Tanah	66
1. Pengujian pemadatan tanah (<i>Modified Proctor Test</i>)	66
2. Pengujian CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	68
a. CBR tanpa rendaman (<i>unsoaked</i>)	68
b. CBR rendaman (<i>soaked</i>)	69
3. Pengujian pengembangan (<i>swelling</i>)	71
4. Pengujian kuat tekan bebas (UCS)	74
D. Pembahasan	77
1. Sifat-sifat tanah uji	77
2. CBR <i>unsoaked</i>	81
3. CBR <i>soaked</i>	82
4. Kuat tekan bebas	82
5. Analisis uji mikroskopik SEM	85

6. Pembahasan hasil	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
A. Kesimpulan	90
B. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir	9
2.	Sistem klasifikasi tanah USCS	10
3.	Klasifikasi AASHTO M145-82 untuk lapisan tanah dasar jalan raya	12
4.	Batasan mengenai PI, sifat, macam tanah dan kohesi	15
5.	Rentang kapasitas pertukaran kation dari mineral lempung	17
6.	Deskripsi lempung berdasar kompresibilitas	19
7.	Hubungan instability indeks dengan indeks plastisitas	20
8.	Korelasi Indeks uji dengan tingkat pengembangan	22
9.	Korelasi nilai indeks plastisitas (PI) dengan tingkat pengembangan	24
10.	Korelasi nilai activity dengan potensi pengembangan	25
11.	Perbandingan mineral asbuton kabungka dan lawele	28
12.	Jenis asbuton butir yang telah diproduksi	29
13.	Berat jenis dari beberapa jenis tanah	31
14.	Sampel pengujian untuk tanah asli	49
15.	Sampel pengujian untuk campuran tanah asli + LGA	49
16.	Hasil uji analisa saringan	56
17.	Hasil pengujian analisis hidrometer tanah	57
18.	Persentase analisis butiran tanah	58
19.	Hasil uji kadar air tanah	58

20. Hasil uji berat jenis spesifik (Gs)	59
21. Hasil uji batas plastis (Plastic Limits, PL)	61
22. Hasil perhitungan nilai aktivitas	61
23. Kandungan kimia tanah asli	63
24. Kandungan kimia LGA	65
25. Hasil pengujian CBR tanpa rendaman (<i>unsoaked</i>)	68
26. Hasil pengujian CBR rendaman (<i>Soaked</i>)	70
27. Hasil uji pengembangan untuk 56 kali tumbukan	72
28. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik tanah	77
29. Nilai CBR dan modulus reaksi tanah dasar (k) berdasarkan grafik	84
30. Kandungan kimia campuran tanah asli dan LGA	87

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Grafik hubungan antara indeks plastisitas & prosentase fraksi lempung	21
2.	Grafik hubungan antara prosentase lempung & aktivitas	24
3.	Asbuton bongkahan dan LGA	29
4.	Penampang struktur tanah	30
5.	Batas konsistensi tanah	33
6.	Hubungan antara kadar air dan berat volume tanah (γ_{dry})	35
7.	Kerangka konseptual	44
8.	Lokasi aspal buton	46
9.	Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian	47
10.	Alat uji kuat tekan	51
11.	Alat uji CBR	51
12.	Alat uji SEM	52
13.	Grafik distribusi butiran gabungan	57
14.	Grafik hasil uji hubungan antara jumlah pukulan dengan kadar air	60
15.	Grafik hasil uji hubungan antara persentasi butiran lempung dan aktivitas	62
16.	Grafik kandungan tanah asli.	63
17.	Grafik kandungan LGA	64
18.	Kurva hubungan kadar air dengan berat isi kering	67

19. Grafik gabungan uji CBR <i>Unsoaked</i> untuk variasi tumbukan	69
20. Grafik gabungan uji CBR <i>soaked</i> untuk variasi tumbukan	70
21. Hubungan antara nilai CBR <i>soaked</i> & <i>Unsoaked</i> dengan kadar LGA untuk 56 kali tumbukan	71
22. Grafik gabungan korelasi hubungan swelling dengan hari dengan 56 kali tumbukan	72
23. Grafik gabungan korelasi hubungan swelling dengan Presentase LGA dengan 56 kali tumbukan	73
24. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, peram 1 hari.	75
25. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, peram 7 hari.	75
26. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, peram 14 hari.	76
27. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, peram 28 hari.	76
28. Grafik hasil uji plastisitas sistem klasifikasi <i>unified</i>	78
29. Grafik hasil uji pastisitas sistem klasifikasi AASHTO	79
30. Struktur mineral <i>montmorilonite</i>	80
31. Grafik Penambahan LGA terhadap peningkatan nilai CBR <i>unsoaked</i> dan CBR <i>soaked</i>	82
32. Grafik Hubungan qu dengan waktu pemeraman terhadap penambahan LGA	83
33. Hubungan antara nilai CBR dengan modulus reaksi tanah dasar	84
34. Hasil foto SEM tanah asli	85
35. Hasil foto SEM asbuton LGA	85
36. Grafik kandungan 70% tanah asli + 30% LGA	86
37. Hasil foto SEM tanah + LGA 30%	87

DAFTAR LAMPIRAN

nomor		halaman
1.	Pemeriksaan analisa saringan	94
2.	Pemeriksaan analisa hydrometer	96
3.	Pemeriksaan kadar air	97
4.	Pemeriksaan berat jenis	98
5.	Pemeriksaan batas cair	99
6.	Pemeriksaan batas plastis	101
7.	Pemeriksaan batas susut	103
8.	Pemeriksaan kompaksi	104
9.	Pemeriksaan kuat tekan bebas	106
10.	Pemeriksaan CBR Unsoaked	126
11.	Pemeriksaan CBR soaked	144
12.	Pemeriksaan pengembangan	162
13.	Pemeriksaan scanning electron microscope (SEM)	163
14.	Foto Penelitian	166

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang teknik sipil, hal ini disebabkan karena sebagian besar pekerjaan teknik sipil berada di atas permukaan tanah, seperti bangunan gedung, bangunan irigasi, bendungan, pelabuhan udara, jalan raya, jalan kereta api serta bangunan fisik lainnya . Pengetahuan Mekanika Tanah sangat diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat tanah, cara menganalisis sifat-sifat tersebut dan untuk menentukan metode yang digunakan dalam memperhitungkan sifat-sifat tanah tersebut dalam perencanaan suatu bangunan (*Wesley L.D, 1977*). Tanah mempunyai bermacam - macam jenis dan diklasifikasikan menjadi beberapa golongan diantaranya; kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), lanau (*Silt*), dan lempung (*Clay*). Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Salah satu cara untuk memperbaiki sifat tanah yang tidak stabil yaitu dengan cara stabilisasi. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan menambahkan suatu bahan tambah tertentu pada tanah yang tidak stabil. Beberapa bahan campuran yang sudah banyak dipergunakan secara luas meliputi abu sekam padi, kapur, semen, aspal, dan pasir. Pada tesis ini penulis mencoba menggunakan aspal Buton (Asbuton) butir yang nantinya diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah lempung tersebut.

Aspal Buton (Asbuton) adalah aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di pulau Buton dan sekitarnya. Dengan jumlah deposit Asbuton yang mencapai 650 juta ton, menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil aspal alam terbesar di dunia. Kadar aspal yang terkandung dalam Asbuton bervariasi, antara 10-40%. Ini merupakan kadar aspal yang cukup besar dibandingkan dengan kadar aspal alam negara-negara lain seperti Amerika (12-15%) dan Prancis (6-10%). Namun, dengan potensi SDA yang begitu besarnya, Indonesia masih belum bisa untuk mencukupi kebutuhan aspal dalam negeri. Ini disebabkan karena Asbuton, sebagai bahan baku pembuatan konstruksi jalan, masih belum banyak digunakan. Dari segi mutu, Asbuton dirasa masih kalah bersaing dengan aspal minyak. Kadar aspal Asbuton yang bervariasi, mudah pecah, dan harganya yang lebih mahal menjadi alasan kenapa Asbuton menjadi jarang dipakai.

Namun seiring dengan terus melonjaknya harga aspal minyak sejak 2002 lalu, maka penggunaan Asbuton saat ini dinilai lebih murah dan efisien. Asbuton juga memiliki kelebihan, yaitu titik lembeknya lebih tinggi dari aspal minyak dan ketahanan Asbuton yang cukup tinggi terhadap panas, sehingga membuatnya tidak mudah meleleh.

Lawele Granular Asphalt adalah salah satu produk asbuton yang memiliki ukuran maksimal 3/8". Kandungan airnya rendah, stabil, tahan hingga 10 tahun, kandungan aspal 20 – 30%, kadar minyak ringan sekitar 7%, dan nilai penetrasi bitumen sekitar 180 dmm. Selain itu, memiliki sifat mudah hancur menjadi butiran-butiran kecil pada kondisi panas. (*Departemen Pekerjaan Umum, 2006*)

Melihat potensi yang ada, maka saat ini dilakukan berbagai penelitian yang bertujuan untuk bisa memaksimalkan penggunaan Asbuton di tanah air, seperti pemanfaatan mineral asbuton untuk bahan stabilisasi tanah dan penggunaan Asbuton sebagai bahan baku perkerasan jalan. Dan untuk mengembangkan penggunaan asbuton yang lebih luas lagi, maka penulis mencoba menggunakan asbuton butir jenis LGA untuk bahan stabilisasi tanah lempung dengan berdasar bahwa pada umumnya semakin banyak butiran kasar dalam tanah, daya dukungnya semakin meningkat dan sifat pengembangannya semakin rendah (*Krebs & Walker, 1971*).

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

Tanah Lempung *expansif* adalah tanah yang mempunyai sifat pengembangan yang tinggi sehingga tidak dapat digunakan sebagai tanah dasar pembuatan konstruksi jalan.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menguji karakteristik komposisi mineral yang terkandung dalam tanah dan LGA
2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi penambahan LGA pada tanah lempung terhadap perubahan kembang susut dan daya dukung tanah untuk *subgrade*.

D. Batasan Masalah

Batasan-batasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini adalah penelitian perbaikan tanah yang dibatasi hanya pada pencampuran dengan *Lawele Granular Asphalt*
2. Tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif *disturbed* (terganggu)
3. Metode test yang dipergunakan adalah berdasarkan metode AASHTO (*American Association of State Highway and*

Transportation Officials) dan dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

4. Bahan stabilisator yang digunakan adalah *Lawele Granular Asphalt*.
5. Penelitian terbatas pada sifat-sifat fisik dan mekanis tanah lempung, yaitu : kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg, gradasi, kuat tekan bebas, kepadatan tanah dan CBR laboratorium serta uji foto Scanning Elektron Microscope (SEM).
6. Penambahan LGA terhadap tanah lempung dengan variasi :
 - a. Tipe 1 : 100% tanah lempung + 0% *Lawele Granular Asphalt*
 - b. Tipe 2 : 95% tanah lempung + 5% *Lawele Granular Asphalt*
 - c. Tipe 3 : 90 % tanah lempung + 10% *Lawele Granular Asphalt*
 - d. Tipe 4 : 80 % tanah lempung + 20% *Lawele Granular Asphalt*
 - e. Tipe 5 : 70 % tanah lempung + 30 % *Lawele Granular Asphalt*

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dengan penambahan *Lawele Granular Asphalt* pada tanah lempung dapat merubah struktur mikroskopik tanah lempung serta memenuhi syarat untuk dapat dimanfaatkan sebagai *subgrade* jalan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau semua jenis material berikut yaitu kerikil, pasir, lanau dan lempung. Secara kualitatif sifat-sifat agregat kerikil dan pasir dinyatakan dengan istilah padat, sedang dan lepas. Sedangkan untuk lempung (*clay*) dipergunakan istilah keras, kaku sedang dan lunak. Sedangkan lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan sub-mikroskopis yang berasal dari pelapukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, bersifat plastis dalam selang kadar air dari sedang sampai dengan tinggi. Pada keadaan kering bersifat sangat keras dan tidak dapat terkelupas hanya dengan menggunakan jari tangan. Selain itu lempung mempunyai permeabilitas yang rendah.

Sifat-sifat tanah baik sifat fisis dan teknis ditentukan oleh jenis klasifikasi tanah tersebut. Klasifikasi tanah ini dimaksudkan untuk mempermudah pengelompokkan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Dalam hubungannya dengan stabilisasi tanah dengan cara penambahan aditif, faktor penting yang ditinjau dari sifat tanah adalah jenis butirannya dan tingkat

gradasinya. Semakin besar ukuran butir tanah akan semakin mempertinggi tingkat stabilisasi tanah.

B. Lapisan Tanah Dasar (*subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) adalah bagian pada permukaan dasar lapisan tanah untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya, dimana kekuatan dan keawetan maupun tebal dari lapisan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar ini.

Adapun persyaratan teknik untuk material tanah sebagai pembentuk tanah dasar (*subgrade*) adalah sebagai berikut :

1. Tidak termasuk tanah Organik
2. Sebaiknya tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi (*expansive*) yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 dari persyaratan klasifikasi AASHTO atau sebagai CH dalam sistim klasifikasi unified.
3. Bahan yang mempunyai plastisitas tinggi hanya boleh digunakan pada daerah/lapisan dibawah 80 cm dari tanah dasar ataupun pada bagian dasar dari urugan, ataupun urugan kembali yang tidak memerlukan daya dukung yang tinggi.
4. Memiliki nilai CBR tidak kurang dari 6 % setelah perendaman 4 hari dan dipadatkan 100 % dari kepadatan kering maximum.
5. Persyaratan kepadatan;

- a. Harus dipadatkan sampai dengan 95 % dari kepadatan kering maximum pada lapisan 30 cm ke bawah dari *subgrade* (*Proctor standard*).
- b. 30 cm keatas harus dipadatkan 100 % dari kepadatan kering maximum (*Proctor standard*).

Umumnya persoalan yang menyangkut kondisi *subgrade* adalah :

- 1) Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- 2) Sifat mengembang dari macam tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- 3) Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya.
- 4) Lendutan dan pengembangan kenyal yang besar selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
- 5) Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya yaitu pada tanah berbutir kasar yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan.
(*Mariandi, 2008*)

C. Klasifikasi Tanah

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Dalam banyak masalah

teknis seperti perencanaan jalan, bendung, urugan, dan lain-lain. Pemilihan tanah dalam kelompok/sub kelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu dalam penentuan klasifikasi. Sistem klasifikasi yang umum digunakan dalam rekayasa teknik sipil adalah sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi *Unified* (USCS). Secara umum, klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan untuk tanah pasir.

1. Berdasarkan sudut pandang teknis

Berdasarkan Sudut Pandang Teknis (LD. Wesley, 1977), tanah dapat digolongkan menjadi: Batu kerikil (*gravel*), Pasir (*sand*), Lanau (*silt*) dan Lempung (*clay*).

2. Berdasarkan ukuran butir

Berdasarkan Ukuran Butir Tanah dibedakan menjadi beberapa bagian seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir

No	Macam tanah	Batas-batas ukuran
1.	Berangkal (<i>Boulder</i>)	>8 inchi (20 cm)
2.	Kerakal (<i>Cobblestone</i>)	3 inchi – 8 inchi (8 – 20 cm)
3.	Batu kerikil (<i>Gravel</i>)	2 mm – 8 mm
4.	Pasir kasar (<i>Course Sand</i>)	0.6 mm – 2 mm
5.	Pasir sedang (<i>Med Sand</i>)	0.2 mm – 0.6 mm
6.	Pasir halus (<i>Fine Sand</i>)	0.06 mm – 0.2 mm
7.	Lanau (<i>Silt</i>)	0.002 mm – 0.06 mm
8.	Lempung (<i>Clay</i>)	< 0.002 mm

Sumber : L. D. Wesley, 1977

3. Sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Tabel 2. Sistem klasifikasi tanah USCS

PEMBAGIAN UTAMA		SIMBOL	NAMA JENIS TANAH
1	2	3	4
<p>TANAH BERBUTIR KASAR Lebih dari setengah materialnya lolos saringan nomor 200</p>	<p>KERIKIL Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih kasar dari saringan nomor 4</p>	<p>Kerikil bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)</p>	<p>GW Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus</p>
		<p>Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>GP Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus</p>
		<p>Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>GM Kerikil kelanauan, kerikil campur pasir dan lanau</p>
		<p>Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>GC Kerikil kelepungan, kerikil campur pasir dan lempung</p>
	<p>PASIR Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan nomor 4</p>	<p>Pasir bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)</p>	<p>SW Pasir, pasir kerikil bergradasi baik, baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus</p>
		<p>Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>SP Pasir, pasir kerikil bergradasi buruk, baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus</p>
		<p>Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>SM Pasir lanauan, pasir campur lanau</p>
		<p>Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)</p>	<p>SC Pasir kelepungan, pasir campur lempung</p>
<p>TANAH BERBUTIR HALUS Lebih dari setengah materialnya lebih halus dari saringan nomor 200</p>	<p>LEMPUNG DAN LANAU Batas cair kurang dari 50</p>	<p>ML Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau lanau kelepungan sedikit plastis</p>	
		<p>CL Lanau organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikil, lempung pasiran, lempung lanauan, lempung humus</p>	
		<p>OL Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah</p>	
	<p>LEMPUNG DAN LANAU Batas cair lebih dari 50</p>	<p>MH Lempung organik, tanah pasiran halus atau tanah lanauan mengandung mika atau diatome lanau elastic</p>	
		<p>CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung ekspansif</p>	
		<p>OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik</p>	
		<p>Pt Gambut dan tanah organik lainnya</p>	

Sumber : Hardiyatmo, 2010

Pada sistem *Unified*, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50 % tinggal dalam saringan No. 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50 % lewat saringan No. 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan kedalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti yang terlihat pada Tabel 2.

4. Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification Sistem. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, sedangkan yang berlaku saat ini adalah ASTM Standart No. D-3282, AASHTO metode M145. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, baik itu *subbase* maupun *subgrade*.

Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam kelompok, A-1 sampai A-7 (Sukirman, 1992). Pada garis besar tanah dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar yaitu kelompok tanah berbutir kasar (≤ 35 % lolos saringan No. 200) dan tanah berbutir halus (> 35 % lolos saringan No. 200). Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan atas :

A – 1 : kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir dengan sedikit atau tanpa butir-butir halus, dengan atau tanpa sifat-sifat plastis.

A – 2 : kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Kelompok A -2 ini terdiri dari campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (<35 %).

A – 3 : kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butirbutir halus dengan sedikit sekali butir-butir lolos No. 200 dan tidak plastis.

Tabel 3. Klasifikasi AASHTO M145-82 untuk lapisan tanah dasar jalan raya

Klasifikasi Umum	Material berbutir							Tanah lanau-lempung			
	(<35% lolos saringan no.200)							(>35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	50 maks	----- -	----- -	-----	-----	-----	-----	----- --	----- --	----- --	-----
No. 40	30 maks	50 maks	51 maks	-----	-----	-----	-----	----- --	----- --	----- --	-----
No. 200	15 maks	25 Maks	10 maks	35 Maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	----- 36 min
Sifat Fraksi yang lewat : # No.40	-----		-----								
Batas cair (LL)	-----		-----	40 Maks	41 min	40 Maks	41 min	40 Max	40 min	40 max	41 min
Indeks plastisitas	6 maks		N.P	10 Maks	10 maks	11 min	11 min	10 Max	10 max	11 min	12 min
Indeks kelompok (GI)	0		0	0 maks		4 maks		8 max	12 max	16 max	20 max
Jenis umum	Fragmen batuan kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempung				Tanah lanau		Tanah lempung	
Tingkat umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Cukup baik sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo, 2010

Kelompok tanah halus dibedakan atas :

A – 4 : kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.

A – 5 : kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga plastisitasnya lebih besar dari kelompok A – 4.

A – 6 : kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.

A – 7 : kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

D. Tanah Lempung

1. Karakteristik umum lempung

Perilaku dan sifat lempung sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah.

Apabila mempelajari mengenai lempung maka perlu dibedakan istilah:

1. Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dari ukuran partikel, yang biasanya berukuran $< 2\mu\text{m}$.
2. Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik,

kadang-kadang ukuran mineral ini $< 2 \mu\text{m}$ dan dapat pula $> 2 \mu\text{m}$, meskipun pada umumnya $< 2 \mu\text{m}$.

Bentuk partikel-partikel lempung, secara umum terdiri dari dua bentuk struktur, yaitu:

1. Struktur menggumpal, terdiri dari suatu partikel yang mengagumpal perlahan ke arah permukaan yang dihasilkan dari pembebanan listrik pada permukaannya selama pengendapan.
2. Struktur terurai, terdiri dari suatu partikel berhadapan-hadapan atau penyusunan sejajar yang terjadi selama konsolidasi (pemampatan).

2. Pengaruh kadar air terhadap perilaku lempung

Kandungan air sangat berpengaruh terhadap perilaku tanah berbutir halus, sehingga tingkatan plastis tanah dapat ditentukan apabila batas plastis dan batas cairnya telah diketahui. Tingkat plastisitas tanah ditentukan berdasarkan Indeks Plastisitas (PI) tanah dimana,

$$PI = LL - PL \quad (1)$$

Dimana :

PI : Plasticity index

LL : Liquid limit

PL : Plastic limit

Pada tiap jenis tanah lempung, batas cair dan batas plastis tanah bervariasi, dan batas cair lebih besar dari batas plastis. Besaran

plastisitas menunjukkan bahwa semakin besar nilai numeriknya, semakin besar terjadinya susut pada waktu proses menjadi kering.

Menurut Atterberg, yang dikutip oleh Kerbs & Walker (1971), plastisitas tanah dibagi dalam empat tingkatan berdasarkan nilai Indeks Plastisitasnya (PI) yang ada dalam selang antara 0 dan lebih besar 17%. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Batasan mengenai PI, Sifat, macam tanah dan kohesi

PI (%)	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesi
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7– 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesi
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesi

Sumber : Hardiyatmo, 2010

Bila nilai $PI = 0$, artinya batas cair sama dengan batas plastis maka tanah tersebut non plastis, sedangkan bila nilai PI antara nol sampai dengan 7 % termasuk plastisitas rendah, nilai PI antara 7 % sampai dengan 17 % termasuk plastisitas sedang, sedangkan nilai PI lebih besar dari 17 % disebut plastisitas tinggi. (*Hardiyatmo, 2010*)

3. Karakteristik lempung ekspansif

Lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada di dalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya

dukungannya akan berkurang demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya sedangkan daya dukungnya akan meningkat.

Untuk konstruksi seperti jalan raya, kondisi ini akan sangat menimbulkan masalah, perkerasan akan retak, turun, bergelombang, bahkan bisa sampai patah jika tipe perkerasannya kaku (*Rigid Pavement*).

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorilonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot k\text{H}_2\text{O}$), namun demikian ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya, yaitu :

- a. Mineral *Montmorilonite*, mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi, sehingga tanah lempung yang mengandung mineral ini akan mempunyai potensi pengembangan yang sangat tinggi. Rumus kimia mineral Montmorilonite adalah $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot k\text{H}_2\text{O}$.
- b. Mineral *Illite*, mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang sedang sampai tinggi, sehingga material lempung yang mengandung mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang medium. Rumus kimia mineral Illite adalah $\text{K}_{0.65}\text{A}_2[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$.

- c. Mineral *Kaolinite*, mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan mempunyai sifat pengembangan yang lebih kecil. Rumus kimia untuk mineral ini adalah $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Ukuran partikel mineral lempung dan kapasitas pertukaran Kation digambarkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Rentang kapasitas pertukaran kation dari mineral lempung

Uraian	Kaolinite	Illite	Monmorillonite
Tebal partikel	0,5 – 2 microns	0,003 - 0,1 microns	< 9,5 A
Diameter partikel	0,5 – 4 microns	0,5 – 10 microns	0,05 – 10 microns
Spesifik permukaan (m^2/gr)	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Kapasitas pertukaran kation	3 – 15	10 - 40	70 – 80

Sumber : Chen (1988)

Lebih lanjut Kerbs & Walker (1971) menyatakan bahwa konsistensi dari tanah natural, ditentukan berdasarkan harga Indeks Kecairan yang dinyatakan sebagai :

$$LI = (W_N - PL) / PI \quad (2)$$

Dimana :

LI : Liquidity Indeks

W_N : Kadar air tanah asli

PL : Plastic limit

PI : Plasticity Index

Nilai LI umumnya berkisar antara nol sampai dengan 1, bila LI kecil mendekati nol artinya kadar air tanah asli mendekati kadar air plastis, sehingga tanah tersebut agak keras, sedangkan bila nilai LI mendekati 1, artinya kadar air tanah asli cukup tinggi sehingga tanah tersebut lunak.

Kadang-kadang dipakai hubungan lain yaitu Indeks Konsistensi (Indeks Kekentalan) yang didefinisikan sebagai :

$$IC = (LL - W_N) / PI \quad (3)$$

Dimana :

IC : Consistency indeks

LL : Liquid limit

W_N : Kadar air asli tanah

PI : Plasticity index

Bila Indeks Konsistensi (IC) kecil maka kadar air tanah asli mendekati batas cair, sehingga tanah tersebut lunak, sedangkan bila IC besar maka kadar air tanah asli jauh lebih kecil dari batas cair maka tanah tersebut kental atau keras.

Konsistensi tanah lempung dapat pula ditentukan berdasarkan kekuatan kompresinya (q_u) sebagaimana disampaikan pada Tabel 6, dalam tabel tersebut terlihat bahwa konsistensi dibagi menjadi 6 kategori dari sangat lunak sampai keras, yaitu antara nilai kompresibilitas (q_u) antara nol sampai dengan lebih besar dari 4.

Perbedaan nilai numerik yang penting antara LI dengan IC adalah pada LI apabila tanah di lapangan mempunyai kadar air natural yang

lebih besar dari batas plastis dan pada IC kadar air lebih kecil dari batas cair (Bowles, 1993).

Tabel 6. Deskripsi lempung berdasar kompresibilitas

q_u (kg/cm ²)	Konsistensi
< 0,25	Sangat lunak
0,25 - 0,50	Lunak
0,50 - 1,00	Sedang
1,00 - 2,00	Kaku
2,00 - 4,00	Sangat kaku
> 4,00	Keras

Sumber : Terzaghi & Peck (1987)

4. Instability indeks

Kembang susut tanah tergantung pada kemampuan tanah menghisap dan menyimpan air. Tanah berbutir halus termasuk lempung berbeda dengan tanah berbutir kasar dalam menyimpan dan meloloskan air, lempung lebih lama menyimpan air daripada meloloskannya sehingga rembesan air pada tanah lempung lebih kecil daripada pasir atau kerikil. Daya rembes tersebut juga sangat berpengaruh pada ketidakstabilan tanah dalam menopang pondasi di atasnya. Untuk mengetahui ketidakstabilan tanah ekspansif dengan instability indeks digunakan rumus :

$$I_{pt} = \frac{\varepsilon}{\Delta u} \quad (4)$$

Dimana :

I_{pt} = instability indeks (%)

ε = regangan vertical

Δu = jumlah perubahan rembesan

Hubungan *instability indeks* dengan indeks plastisitas terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hubungan instability indeks dengan indeks plastisitas

Description of Plasticity	Plasticity indeks (%)	Instability indeks (%)
Trace	< 2	< 0.5
Very low	2 to 5	Approx. 0.5
Low	5 to 10	0.5 to 1
Low to medium	10 to 20	1 to 1.5
Medium	20 to 25	1.5 to 2
Medium to high	25 to 30	Approx. 2
High	30 to 45	2 to 3.5
Very high	45 to 60	3.5 to 5
Extremely high	> 60	> 5

Sumber : Jaksa (2006)

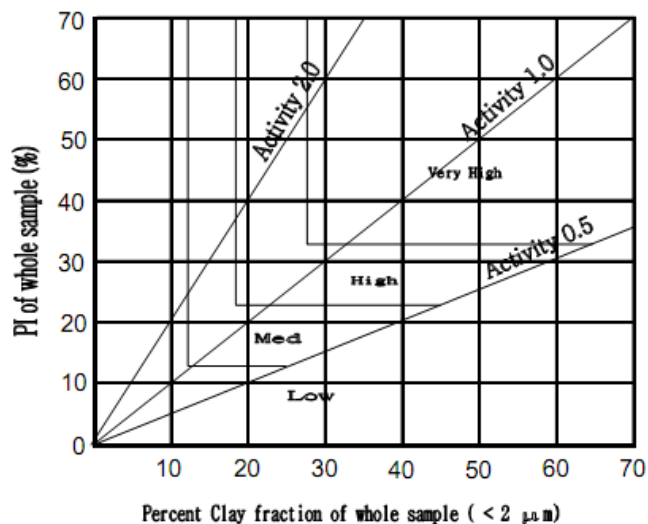
5. Identifikasi tanah ekspansif

Identifikasi tanah ini sangat berhubungan dengan hasil pengujian laboratorium dan pengujian lapangan serta tingkat pengembangannya. Untuk melakukan identifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu : cara tidak langsung dan cara langsung.

Cara langsung adalah dengan mengukur susut dari contoh tanah yang ada, sedangkan cara tidak langsung adalah dengan melakukan analisis dari parameter-parameter tanah antara lain, batas-batas Atterberg dan nilai aktivitas. Beberapa cara identifikasi tanah ekspansif dengan cara tidak langsung antara lain sebagai berikut :

a. Cara Van Der Merwe

Dengan menggunakan *Plasticity Index* (PI) dan prosen fraksi lempung (CF), tanah dapat digolongkan dalam aktivitas kelas rendah (*low*), kelas sedang (*medium*), dan kelas tinggi (*high*). Gambar 1 menunjukkan grafik hubungan antara *Plasticity Index* (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF) atau lebih kecil dari 2 μ m. (Seta, 2006)



Gambar 1. Grafik hubungan antara indeks plastisitas & prosentase fraksi lempung (Van Der Merwe. dalam Seta 2006)

b. Cara Holz dan Gibbs

Cara ini menyajikan kriteria untuk memperkirakan potensial pengembangan tanah tak terganggu dengan pembebanan sebesar 6,9 kPa. Tabel 8 menunjukkan hubungan antara pengembangan dengan parameter-parameter tanah, antara lain *Plasticity Index*, *Shrinkage Limit*, *Colloid Content*, dan kemungkinan perubahan volume (Seta, 2006)

Tabel 8. Korelasi indeks uji dengan tingkat pengembangan

Data dari indeks tests			Kemungkinan pengembangan (% perubahan volume)	Tingkat pengembangan
Colloid content (%)	Plasticity index (%)	Shrinkage limit (%)		
> 28	> 35	< 11	> 30	Sangat tinggi
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	Tinggi
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 20	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber : Holz & Gribbs (dalam Seta, 2006)

c. Cara Chen (1988)

Dalam melakukan identifikasi tanah ekspansif, ada dua cara yang dikemukakan Chen, yaitu: cara pertama, Chen mempergunakan indeks tunggal, yaitu *Plasticity Index* (PI). Sedangkan cara kedua, Chen mempergunakan korelasi antara fraksi lempung lolos saringan no. 200, batas cair (LL), dan nilai N dari hasil uji Standart Penetration Test (SPT).

Tabel 9 menunjukkan hubungan antara harga PI dengan potensi pengembangan yang dibagi menjadi 4 kategori, yaitu: potensi pengembangan rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Tanah ekspansif dengan tingkat pengembangan tinggi sampai sangat tinggi yaitu nilai *Plasticity Index* > 55%.

Tabel 9. Korelasi nilai indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

Indeks plastitas (PI) %	Potensi pengembangan
0 – 15	Rendah
10 – 35	Sedang
20 – 55	Tinggi
> 55	Sangat tinggi

Sumber : Chen (1988)

d. Cara Skempton (1953)

Skempton mengidentifikasi tanah ekspansif dengan *activity*, yaitu perbandingan antara harga *Plasticity Index* (PI) dengan prosentase fraksi lempung (CF), dengan persamaan :

$$Ac = PI / CF \quad (5)$$

Dimana :

Ac : Activity

PI : Plasticity Index

CF : Prosentase lolos saringan no. 200

Tabel 10. Korelasi nilai activity dengan potensi pengembangan

Nilai activity (Ac)	Tingkat keaktifan	Potensi pengembangan
< 0,5	Tidak aktif	Rendah
0,75 < Ac < 1,25	Normal	Sedang
> 1,25	Aktif	Tinggi

Sumber : Skempton (1953)

e. Seed dan kawan-kawan

Cara ini mempergunakan *activity* Skempton yang dimodifikasi, yaitu:

$$Ac = PI / (CF - 10) \tag{6}$$

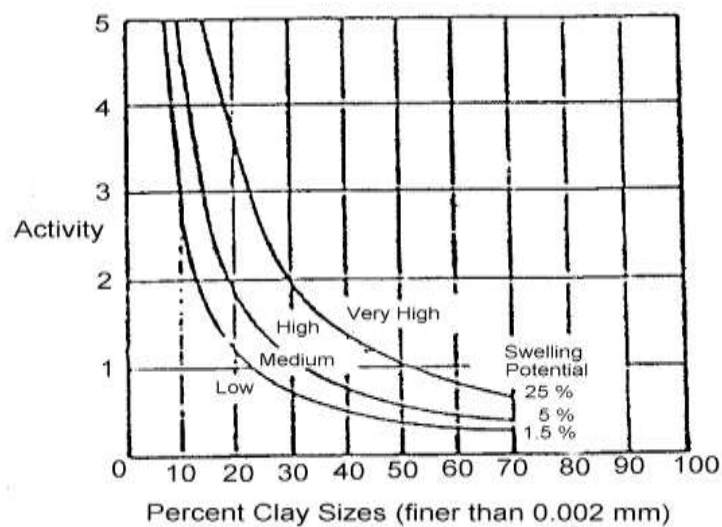
Dimana :

Ac : Aktiviti

PI : Plasticity index (%)

CF : Prosentase lolos saringan no. 200 (%)

Angka 10 adalah faktor reduksi



Gambar 2. Grafik Hubungan antara prosentase lempung & Aktivitas (Seed, dkk. 1962 dalam Seta, 2006)

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara prosentase lempung lolos saringan no. 200 dan activity serta potensial Swelling. Tanah ekspansif dengan activity lebih besar dari 1,25 (*very high*) dan prosentase lolos saringan no. 200.

E. Stabilisasi Tanah Lempung

Perbaikan tanah dibidang rekayasa teknik sipil disebut dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah sesuatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Menurut Bowles (1986) stabilisasi dapat berupa:

1. meningkatkan kerapatan tanah,
2. menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul,
3. menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah,
4. menurunkan muka air tanah,
5. mengganti tanah yang buruk.

Terdapat tiga metode utama untuk menstabilisasi tanah yaitu:

1. Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*) yaitu upaya pengaturan gradasi butiran tanah secara proporsional yang diikuti dengan proses pemadatan untuk mendapatkan kepadatan maksimum. Bowles (1988) mengatakan bahwa cara pemadatan ini dapat ditempuh, dengan cara menggunakan peralatan

mekanis (misal: *sheep-foot roller*), benda-benda berat dijatuhkan, eksplosif, *preloading*, pembekuan, pemanasan dan lain-lain.

2. Stabilisasi Fisik (*Thermal*) yaitu stabilisasi yang dilakukan untuk merubah sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan, pendinginan dan menggunakan arus listrik. Salah satu jenis stabilisasi fisik yang sering dipakai adalah pemanasan, sebagai contoh pembuatan batu bata, pembuatan genteng tanah dan lain sebagainya.
3. Stabilisasi kimia (*chemical stabilization*) yaitu stabilisasi dengan menggunakan cara penambahan bahan kimia padat, cair maupun *gel* pada tanah sehingga mengakibatkan perbaikan sifat-sifat fisik dan mekanis dari tanah tersebut. Metode ini menggunakan cara mencampurkan tanah dengan semen, aspal, kapur, bentonit atau bahan kimia lainnya (*Cernica, 1995*).

Secara umum dapat dikemukakan bahwa tujuan stabilisasi adalah untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Karena kinerja perkerasan tidak semata – mata menyangkut kekuatan, maka dalam rangka memilih cara stabilisasi yang tepat perlu diketahui alasan perlunya stabilisasi.

Adapun beberapa alasan konvensional yang melatar belakangi perlunya stabilisasi adalah:

1. Kondisi tanah dasar yang jelek. Stabilisasi tanah dasar adalah untuk meningkatkan mutunya sehingga tebal perkerasan dapat dikurangi.

2. Bahan lapis pondasi yang terbatas. Diantara kasus bahan lapis pondasi marjinal yang kemungkinan sering dijumpai di lapangan adalah tingginya platisitas bahan. Dalam hal tersebut, plastisitas dapat diturunkan dengan menambahkan kapur atau semen ke dalam bahan.
3. Pengendalian debu. Meskipun sejauh ini penggunaan bahan stabilisasi untuk mengendalikan debu belum populer di Indonesia, namun beberapa negara telah menggunakannya.
4. Pengendalian kadar air. Beberapa bahan kimia dapat menahan air dalam tanah sehingga pada musim kemarau memungkinkan tanah mudah untuk dipadatkan. Pada kasus yang ekstrim, kemungkinan tanah dalam keadaan yang sangat basah sehingga sulit dipadatkan. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan bahan stabilisasi yang dapat “mengeringkan” tanah.
5. Mendapatkan bahan lapis pondasi yang lebih unggul. Penggunaan lapis pondasi yang unggul, misal lapis pondasi distabilisasi semen (cement treated base) dan lapis pondasi beton aspal, sering kali diperlukan, baik pada perkerasan beton aspal maupun perkerasan beton semen. Lapis pondasi tersebut dapat menyumbangkan kekakuan yang berarti terhadap perkerasan, sehingga perkerasan lebih tahan terhadap keruntuhan leleh.

Pelaksanaan stabilisasi di laboratorium, umumnya dilakukan dengan cara percobaan pemadatan *Proctor Standard*. Campuran tanah asli

dengan bahan aditif dipadatkan pada kadar air optimum dengan pemadatan *Proctor Standard*, namun dalam penelitian ini mempergunakan metode pemadatan *Modified Proctor*. Sedangkan cara yang lain adalah dengan mencampur tanah dengan bahan aditif pada batas cair ataupun pada batas plastis dengan proses pemadatan.

F. Aspal Buton (Asbuton)

Aspal alam yang terdapat di Pulau Buton merupakan campuran antara bitumen dan mineral. Aspal alam tersebut terbentuk akibat proses geologi dalam periode waktu yang lama dan berlangsung secara alamiah, yang disebabkan oleh minyak bumi yang terdorong muncul kepermukaan, menyusup di antara batuan yang porous. Jenis aspal alam yang terdapat di Pulau Buton ini adalah aspal batu (rock asphalt) yang terdapat di daerah Kabungka dan aspal lunak yang terdapat di daerah Lawele.

Tabel 11. Perbandingan mineral asbuton Kabungka dan Lawele

Senyawa	Hasil pengujian	
	Asbuton dari Kabungka (%)	Asbuton dari Lawele (%)
CaCO ₃	86,66	72,90
MgCO ₃	1,43	1,28
CaSO ₄	1,11	1,94
CaS	0,36	0,52
H ₂ O	0,99	2,94
SiO ₂	5,64	17,06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2006)

Mineral Asbuton didominasi oleh “*Globigerines limestone*” yaitu batu kapur yang sangat halus yang terbentuk dari jasad renik binatang purba foraminifera mikro yang mempunyai sifat sangat halus, relatif keras berkadar kalsium tinggi dan baik sebagai filler pada campuran beraspal.

Asbuton butir merupakan asbuton padat/bongkahan yang dipecahkan menjadi ukuran yang lebih kecil, yang diharapkan dapat memudahkan termobilisasinya bitumen keluar dari dalam mineralnya. Jenis Asbuton berdasarkan ukuran butir dan kadar aspal yang dikandungnya dapat dibedakan seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Jenis asbuton butir yang telah diproduksi

Uraian	Jenis asbuton/merk produksi						Satuan
	Konv.	Halus	Mikro	BRA	BGA	LGA	
Kadar aspal	13-20	20	25	20	20-25	25-40	%
Kadar air	>6	6	2	< 2	< 2	< 2	%
Ukuran butir max.	12,5	4,75	2,36	1,18	1,18	9	mm
Kemasan	Curah	Ktg	ktg	krp	krp	Krg	-

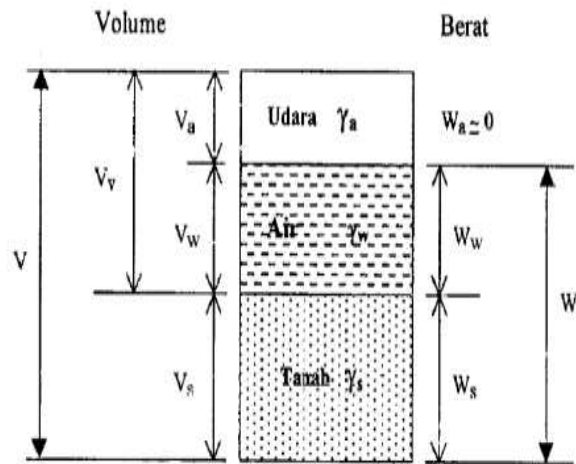
Sumber : *Balitbang Pekerjaan Umum (2012)*



Gambar 3. Asbuton bongkahan dan LGA

G. Penelitian Sifat Fisik Tanah

Adapun bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam fase, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampang struktur tanah

dengan:

V = Isi (volume) (cm^3)

V_w = Isi air (volume of water) (cm^3)

V_v = Isi pori/rongga (volume of void) (cm^3)

V_s = Isi butir-butir padat (volume of solid) (cm^3)

W = Berat (weight) (gr)

W_a = Berat udara (weight of air)

W_w = Berat air (weight of water) (gr)

W_s = Berat butir-butir padat (weight of solid) (gr)

1. Kadar air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (7)$$

2. Berat jenis

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 40°C

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \times 100\% \quad (8)$$

G_s tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedangkan tanah kohesi tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72.

Tabel 13. Berat jenis dari beberapa jenis tanah

Macam tanah	Berat jenis (G_s)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau tak organik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung tak organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : Hardiyatmo, 2010

3. Analisis pembagian butir (Grain size analysis)

Analisis pembagian butir umumnya dibagi menjadi dua bagian (Soedarmo dan Purnomo,1997).

a. Analisis ayakan (*Sieve analysis*)

Pengujian Analisa saringan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui gradasi butiran tanah sehingga tanah bisa diklarifikasi menurut AASHTO. Cara menentukan ukuran butiran tanah dengan mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana diameter ayakan tersebut semakin kebawah makin kecil secara beruntun. Contoh tanah dimasukkan dan digetarkan kira-kira 10 menit. Kemudian masing-masing ayakan bersama dengan tanah yang tertahan ditimbang. Dari hasil yang ada kemudian disesuaikan dengan tabel AASHTO tentang klasifikasi tanah.

Bila hasil benda uji adalah tanah lempung, maka perlu diketahui nilai *Liquid Limit*, *Plastic Index* dan *Plastic Limit* dari pengujian *Plastic Limit*, dan *Liquid Limit* agar benda uji bisa diklasifikasikan dengan lebih detail.

b. Analisis hidrometri (*Hydrometer analysis*)

Analisis ini dipakai untuk tanah berbutir halus (*Finer part*), seperti lempung (*Clay*) dan lumpur (*Silt*). Analisis hidrometri berdasarkan prinsip-prinsip sebagai berikut :

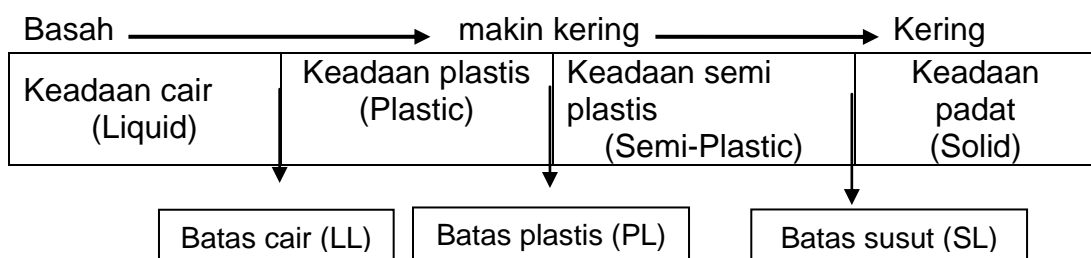
- i. Butiran-butiran tercampur dalam air (suspensi) akan menurun dengan kecepatan tertentu yang tergantung ukuran butir-butirnya.

Butir-butir yang berukuran sama akan menurun dengan kecepatan sama.

- ii. Berat spesi/berat jenis suspensi tergantung konsistensi butir-butir yang terkandung didalamnya. Jadi dengan cara mengukur berat jenis suspensi kita dapat menghitung banyaknya tanah yang ada di dalam campuran tersebut.

4. Batas-batas Atterberg

Batas Atterberg memperlihatkan terjadinya bentuk tanah dari benda padat hingga menjadi cairan kental sesuai dengan kadar airnya. Dari test batas Atterberg akan didapatkan parameter batas cair, batas plastis, batas lengket dan batas kohesi yang merupakan keadaan konsistensi tanah. Batas-batas Atterberg dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Batas konsistensi tanah (Wesley, L. D, 1997)

a. Batas cair (*Liquid Limit = LL*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah yang untuk nilai-nilai di atasnya, tanah akan berperilaku sebagai cairan kental (*batas antara keadaan cair dan keadaan plastis*), yaitu batas atas dari daerah plastis.

b. Batas plastis (*Plastic Limit = PL*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air yang untuk nilai-nilai dibawahnya, tanah tidak lagi berpengaruh sebagai bahan yang plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis dalam kadar air yang berkisar antara LL dan PL. Kisaran ini disebut indeks plastisitas.

c. Indeks plastisitas (*Plastic Plasticity Index = IP*)

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitas tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$IP = LL - PL \quad (9)$$

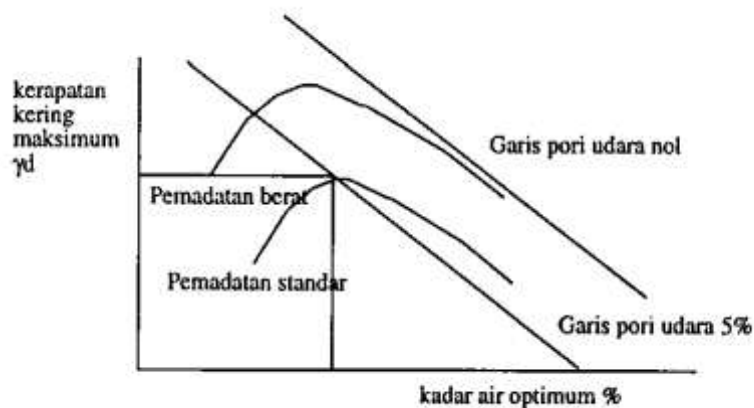
H. Penelitian Sifat Mekanik Tanah

1. Pemadatan tanah (Standart Proctor Test)

Pemadatan adalah suatu proses bertambahnya berat volume kering tanah akibat memadatnya partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan air tetap tidak berubah. (*Hardiyatmo, 2010*) Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah yang akan memberikan keuntungan yaitu :

- Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- Bertambahnya kekuatan tanah.
- Memperkecil pemampatan dan daya rembes airnya.
- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Kegunaan pengujian ini untuk mencari nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum dari suatu sampel tanah. Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Di laboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan *uji proctor*, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume.



Gambar 6. Hubungan antara kadar air dan berat volume tanah (Hardiyatmo, 2010)

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (10)$$

Berat volume tanah kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat pemadatnya.

Kurva yang dihasilkan dari pengujian pada Gambar 6 memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut *kadar air optimum*. Pada nilai kadar air yang rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

2. Kekuatan tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*)

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili (*Hardiyatmo, 2010*).

Adapun beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, salah satu diantaranya adalah pengujian tekan bebas. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan. Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas ialah besarnya

beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%.

Analisa perhitungan jika diketahui : A = luas sampel (cm^2), LRC = kalibrasi alat kuat tekan (kg/div) dan δh = pembacaan deformasi (mm), diperoleh rumus :

- a. Regangan aksial

$$\varepsilon = \frac{\delta h}{h} \quad (11)$$

- b. Gaya aksial

P = Pembacaan aksial

- c. Koreksi Luas

$$A = A_0 / (1 - \delta h/h) \quad (12)$$

- d. Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (13)$$

3. CBR laboratorium

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara yang dicampur dengan air sampai kadar air optimum, kemudian didiamkan dalam kantong plastik selama 24 jam. Contoh tanah kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada lapisan pertama (1/4) dari tinggi mol, 56 kali pada lapisan kedua (1/2) dari tinggi mol, dan ditumbuk 56 kali 1 mol penuh pada lapisan ke tiga. Untuk

pemeriksaan CBR langsung (unsoaked CBR), benda uji telah siap diperiksa nilai CBR-nya.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch² dengan kecepatan 0,05 inch/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standard tertentu.

Untuk menentukan kekuatan lapisan tanah dasar dengan cara percobaan CBR diperoleh nilai yang kemudian dipakai untuk menentukan tebal perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBRnya tertentu (Wesley,1977)

Dalam menguji nilai CBR tanah dapat dilakukan di laboratorium. Tanah dasar (*Subgrade*) pada konstruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% dari kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tersebut tanah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut CBR laboratorium.

Pengujian CBR rendaman bertujuan untuk mengetahui nilai CBR dari suatu sampel tanah setelah terendam air dalam jangka waktu tertentu.. Prosedur pengujiannya sama dengan pengujian CBR tak terendam, yang membedakannya adalah perlakuan terhadap sampel sebelum diuji. Pada

pengujian ini data yang diperoleh adalah nilai *Swelling* dan CBR tanah asli, perendaman yang dilakukan yakni selama 4 hari (96 jam).

Ada dua macam pengukuran CBR yaitu :

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0.254 cm (0,1") terhadap penetrasi standard yang besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR} = \frac{x}{70,37} \times 100\% \quad (x \text{ dalam kg/cm}^2) \quad (14)$$

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi standard yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi)

$$\text{Nilai CBR} = \frac{x}{105,56} \times 100\% \quad (x \text{ dalam kg/cm}^2) \quad (15)$$

Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar (Manual Pemeriksaan Badan Jalan, Dir.Jen Bina Marga, 176)

4. **Swelling (Pengembangan)**

Berdasarkan klasifikasi tanah mempunyai batas kadar air untuk kondisi susut, batas pada kondisi plastis dan batas kadar air kondisi mencair, kondisi dimana tanah dapat berubah bentuk sendiri. Tetapi juga ada tanah yang dapat berubah volumenya akibat air secara ekstrem yaitu kondisi susut dan kondisi mengembangnya.

I. Uji Observasi Mikroskopik SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalogafi.

SEM banyak digunakan untuk analisa permukaan material, SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan yang lainnya CRT (*Cathode Ray Tube*) memberikan tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang ada pada suatu daerah objek merupakan gerakan membaca. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *display console*.

J. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian tentang stabilisasi tanah telah banyak dilakukan sebelumnya baik dengan atau tanpa penambahan zat-zat additive lainnya. Seperti yang dilakukan oleh:

1. Noerjahjo Widodo, 1998

Pada penelitian ini asbuton mikro dan bahan peremaja sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan nilai CBR dan mengurangi tekanan pengembangan lempung. Nilai pengembangannya adalah 9,41%, diukur setelah direndam selama 4 hari sebelum dilakukan pengujian CBR dan nilai CBR rendamannya adalah 2,08%. Nilai CBR rendaman untuk kombinasi 10% asbuton mikro dari berat tanah kering dan 10% bahan peremaja dari berat tanah kering pada saat pemeraman 0 hari adalah 10,67%, ketika pemeraman 7 hari nilai CBRnya naik menjadi 11,11% dan pemeraman 14 hari nilai CBR turun 9,00%. Pada kondisi pemeraman selama 7 hari diperoleh pengembangan paling rendah yaitu 1,96%.

2. A. Arwin Amiruddin dan Anna Yaurentius, 2001

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh asbuton mikro terhadap karakteristik fisik dan mekanik tanah ekspansif. Kadar asbuton yang digunakan adalah 2%, 3%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Dari hasil percobaan dihasilkan pada penambahan kadar asbuton mikro 20% dapat menurunkan PI sampai 19,73%, kadar air turun 38,95% dan pengembangan menurun dari 9,130% menjadi 0,192%.

3. Neni Kusnianti, 2008

Pengujian stabilisasi ini dilakukan dengan mencampur tanah asli dengan mineral asbuton. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan daya dukung (CBR) akibat tambahan mineral asbuton, semakin banyak campuran mineral asbuton, semakin tinggi harga kepadatan kering dan CBR Soaked . Pada campuran 12% mineral asbuton akan meningkatkan CBR sekitar 53% terhadap CBR tanah asli. Peningkatan nilai kekuatan tanah (UCS) untuk mineral asbuton pada campuran, terjadi pada umur 7 hari dan 28 hari, yaitu peningkatan sebesar 49% dan 63% dari nilai UCS tanah aslinya.

4. Warsiti. 2009

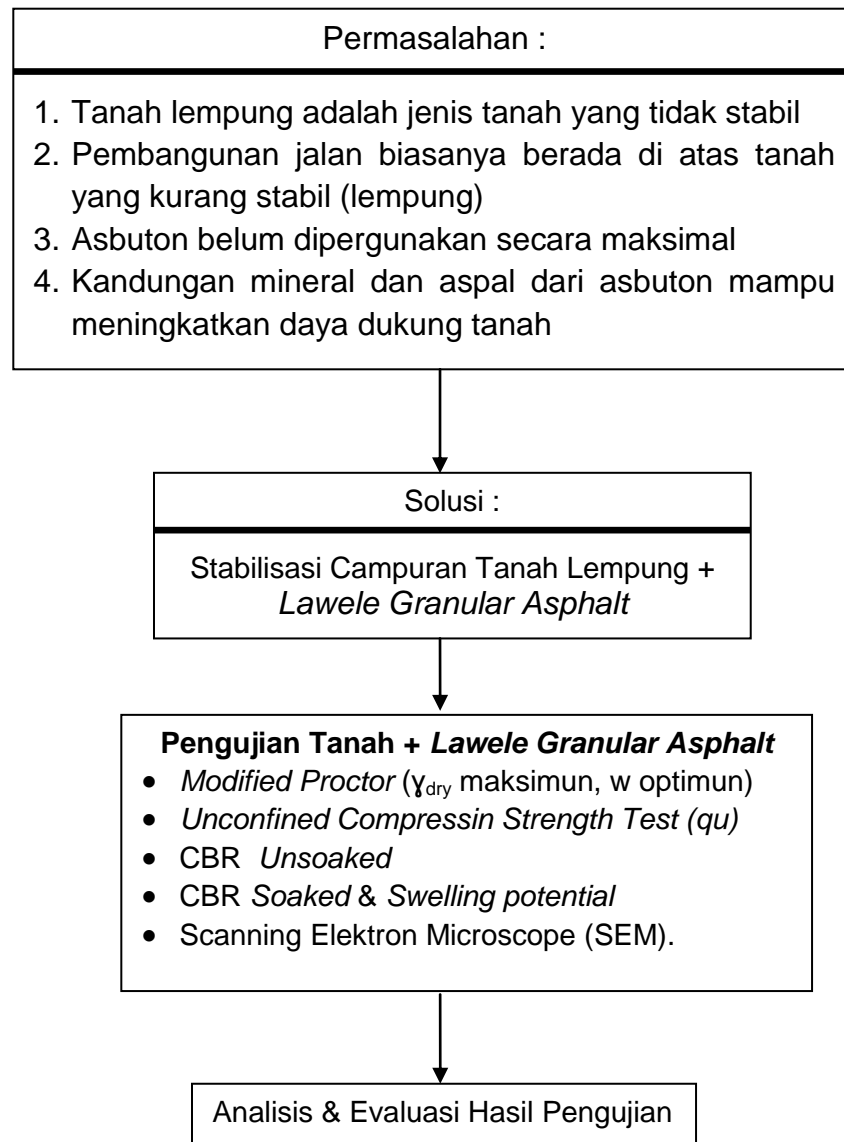
Tujuan penelitian adalah menjelaskan pengaruh penambahan kapur ke dalam tanah terhadap peningkatan CBR (daya dukung tanah), swelling, dan mengetahui persentase kapur optimum sehingga diperoleh CBR maksimum dan swelling minimum. Pada hasil pengujian CBR dengan metode standar terhadap tanah yang dicampur dengan kapur dari berbagai persentase dapat dikatakan CBR yang dihasilkan mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Pada pengujian CBR dalam kondisi unsoaked akan mengalami perbaikan dari 11.88% menjadi 22,1 % dengan persentase kapur 10%. Begitu pula hasil CBR dalam kondisi

soaked mengalami peningkatan yang cukup besar, yaitu dari 2,45 % menjadi 7,6 % pada persentase kapur 10 %.

5. Achmad Zultan, 2011

Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana memanfaatkan tanah lempung sebagai material *subgrade* jalan yang distabilisasi menggunakan limbah beton. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa Hasil uji CBR rendaman tanah asli hanya 1,8 % tidak memenuhi spesifikasi kekuatan tanah dasar jalan raya yang dipersyaratkan (persyaratan nilai CBR >6%). Dengan stabilisasi limbah beton 40% diperoleh nilai CBR 7,7 % maka sudah sesuai spesifikasi kekuatan sebagai tanah dasar.

Kerangka Pikir



Gambar 7. Kerangka konseptual

BAB III

METODE PELAKSANAAN PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorium berupa pengujian tanah lempung ekspansif yang di stabilisasi dengan *Lawele Granular Asphalt*.

B. Bahan dan Alat

1. Bahan

Jenis tanah adalah Tanah lempung *expansive* yang diambil dari persawahan Bumi Tamalanrea Permai Makasar dalam kondisi terganggu (*disturbed*) sedalam ± 30 cm dari permukaan, Sedangkan asbuton yang digunakan adalah *Lawele Granular Asphalt* yang diperoleh dari daerah Lawele kecamatan Lasalimu kabupaten Buton Sulawesi Tenggara.



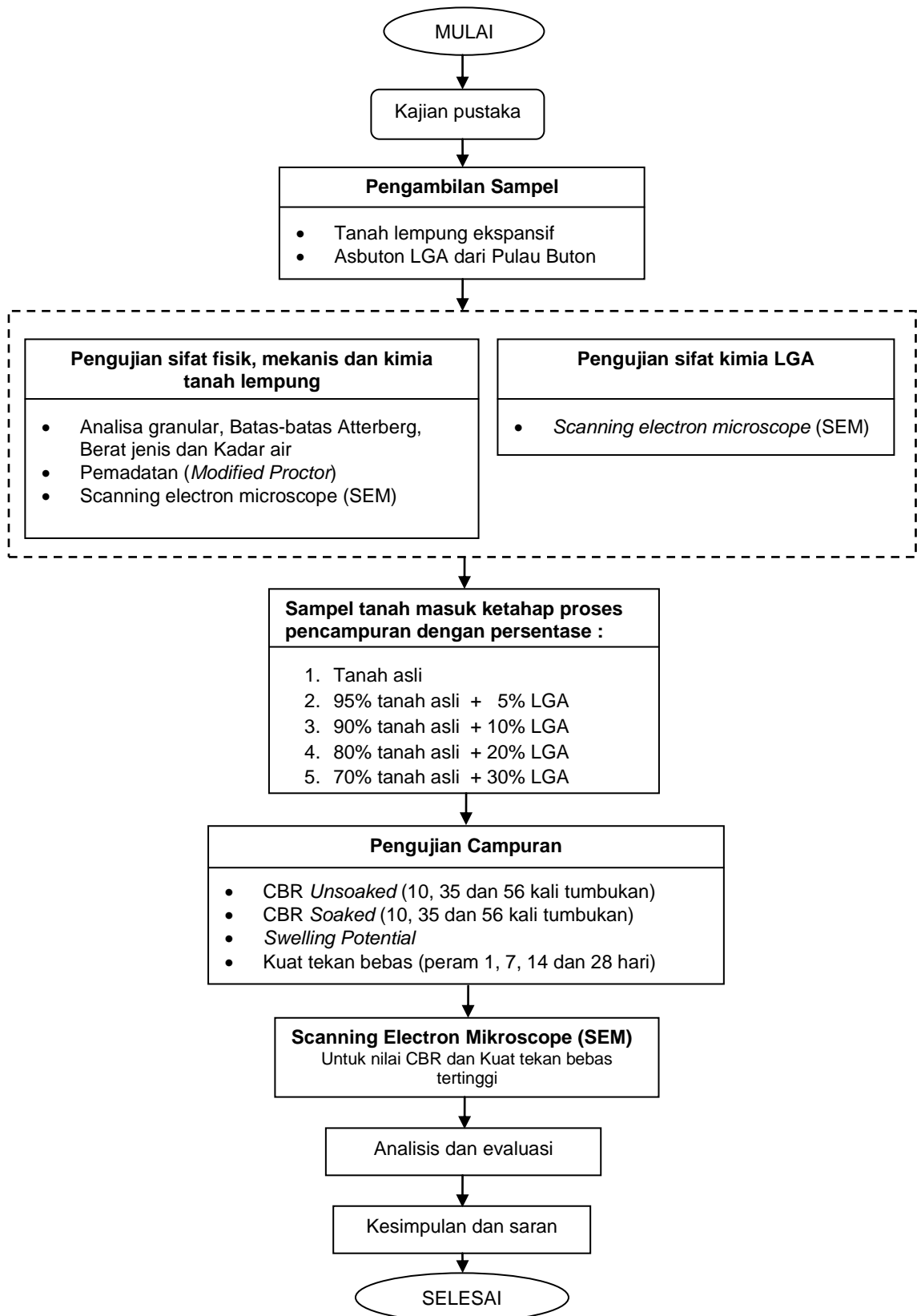
Gambar 8. Lokasi aspal Buton

2. Alat

Alat yang digunakan adalah alat yang diperlukan untuk pengujian laboratorium antara lain alat uji saringan, hydrometer, berat jenis, batas-batas Atterberg, kompaksi, CBR, kuat tekan bebas, dll.

C. Bagan Alir Penelitian

Sebelum melakukan penelitian maka dibuat langkah-langkah pelaksanaan alur kegiatan penelitian agar dapat berjalan secara sistematis dan tepat sasaran tercapainya tujuan penelitian. Langkah-langkah awal sampai pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian

D. Pekerjaan Laboratorium

Pengujian dilakukan dilaboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin sebagai berikut :

1. Pengujian sifat fisik (kadar air, berat jenis, analisis granular, batas konsistensi).
2. Pengujian sifat mekanik tanah (Kuat Tekan Bebas, Standard proctor, CBR *Unsoaked* dan CBR rendaman /*Swelling*)
3. Pengujian sifat kimia tanah (Scanning Electron Microscope)

E. Kombinasi Campuran

Dalam penelitian ini sampel uji terdiri dari masing-masing material asli dan campuran yang dibuat berdasarkan LGA sebagai bahan campuran yang jumlah penambahannya berdasarkan prosentase perbandingan berat butir LGA dengan lempung. Lama waktu pemeraman pada pengujian kuat tekan bebas ditentukan yaitu 1, 7, 14 dan 28 hari pada masing-masing variasi penambahan LGA dan lama waktu pemeraman dibuat 3 sampel yang sama.

Sampel uji yang akan dibuat untuk masing-masing kategori secara detail pada pengujian tanah asli yaitu pada Tabel 14 dan untuk sampel pengujian campuran tanah asli dengan LGA secara detail terlihat pada Tabel 15.

Tabel 14. Sampel pengujian untuk tanah asli

No	Pengujian	Jumlah benda uji
1	Kadar air	5 sampel
2	Berat jenis	5 sampel
Analisis granular :		
3	Analisa saringan	2 sampel
4	Analisa hydrometer	1 sampel
Batas-batas konsistensi :		
5	Batas cair	2 x 5 sampel
6	Batas plastis	2 x 5 sampel
7	Batas susut	5 sampel
Kepadatan tanah :		
8	Modified proctor	5 sampel
Scanning electron microscope :		
9	Tanah asli	1 sampel
10	Lawele granular asphalt	1 sampel

Tabel 15. Sampel pengujian untuk campuran tanah asli + LGA

Variasi campuran	Sampel uji CBR unsoaked (10x, 35x dan 56x tumbukan)	Sampel uji CBR soaked (10x, 35x dan 56x tumbukan)	Swelling (Perendaman 4 Hari)	Sampel uji UCS (1, 7, 14 & 28 Hari)
Tanah asli + 0 % LGA	3 sampel	3 sampel	3 sampel	4 sampel
Tanah asli + 5 % LGA	3 sampel	3 sampel	3 sampel	4 sampel
Tanah asli + 10 % LGA	3 sampel	3 sampel	3 sampel	4 sampel
Tanah asli + 20 % LGA	3 sampel	3 sampel	3 sampel	4 sampel
Tanah asli + 30 % LGA	3 sampel	3 sampel	3 sampel	4 sampel
Total sampel uji	15 sampel	15 sampel	15 sampel	20 sampel

Sedangkan untuk uji Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk campuran tanah asli + LGA dengan nilai CBR dan kuat tekan bebas tertinggi.

F. Pengujian Sampel

Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi. Pengujian dilakukan mengikuti *Standart ASTM*, *AASHTO*, *SNI*, dan *USCS* sebagai berikut :

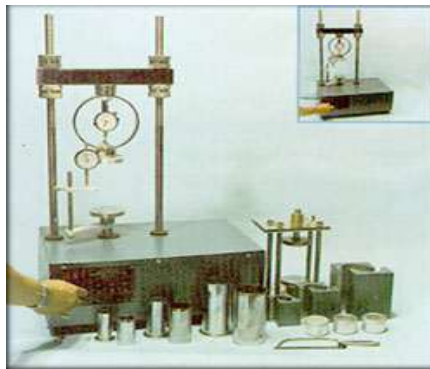
1. Uji sifat fisis tanah

Tentukan indeks propertis tanah. Sifat-sifat indeks ini diperlukan untuk mengklasifikasikan tanah. Pengujian indeks ini adalah sebagai berikut:

- a. Uji analisa saringan. Pengujian ini disesuaikan dengan SNI 03-1968-1990.
- b. Uji analisis hidrometer. Pengujian ini disesuaikan dengan SNI 03-3423-1994.
- c. Uji batas cair (*liquid limit*, LL). Pengujian ini disesuaikan dengan SNI 03-1967-1990. Uji batas plastis (*plastic limit*, PL) dan indeks plastisitas (*plasticity index*, PI). Pengujian ini disesuaikan dengan SNI 03-1966-1990.
- d. Pengujian berat jenis tanah disesuaikan dengan SNI 03-1964-2008/ASTM D854-88(72).
- e. Pengujian kadar air disesuaikan dengan ASTM D 2216-(71).

2. Uji sifat mekanis tanah

- a. Uji pemadatan modifikasi. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-1742-1989 atau SNI 03-1744-1989.
- b. Alat uji uji kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 10. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-3638-1994 / ASTM D 2166.



Gambar 10. Alat uji kuat tekan

- c. Alat uji pemeriksaan CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium dapat dilihat pada Gambar 11. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-1744-1989.



Gambar 11. Alat uji CBR

- d. Pengujian swelling potential ini dilaksanakan mengacu pada SNI 03-1744-1989 atau yang disebut juga konstan volume test.

3. Uji mikroskopik SEM.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikroskopik benda uji. Alat uji scanning electron microscope dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Alat uji SEM

G. Penyiapan Benda Uji

1. Siapkan contoh tanah yang kering udara dengan cara digemburkan. Apabila contoh tanah dalam kondisi basah, pengeringan dapat dilakukan dengan mengangin-anginkan (*air-dry*) atau menggunakan alat pengering yang dapat membatasi temperatur contoh tanah sampai dengan 60°C;
2. Ambil contoh tanah yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) kemudian periksa kadar air (*w*) dan disimpan dalam kantong pada temperatur

ruangan. Berat contoh tanah disesuaikan dengan kebutuhan untuk masing-masing standar pengujian yang akan diterapkan.

3. Menghitung dan menimbang jumlah LGA yang dibutuhkan sesuai dengan jumlah perhitungan prosentase perbandingan campuran.
4. Mengambil tanah dan LGA serta campuran tanah + LGA untuk uji mikroskopik SEM.
5. Ambil contoh tanah secukupnya untuk pengujian kadar air awal (SNI 03-1965-1990);
 - a. Lakukan uji pemadatan ringan atau pemadatan berat, jika diperlukan, untuk mendapatkan kadar air optimum (*Optimum moisture content*) dan kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) yang sesuai dengan SNI 03-1742-1989 atau SNI 03-1743-1989.
 - b. Lakukan uji kekuatan tanah dengan uji kuat tekan bebas sesuai dengan SNI 03-3638-1994 dan uji CBR sesuai dengan SNI-1744-1989.

H. Metode Analisis

Pada analisa data yang digunakan yaitu analisis terhadap data hasil uji di laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut ini:

1. Analisis distribusi Butiran terhadap tanah yaitu melakukan analisis hasil pengujian tanah di laboratorium dan klasifikasinya menurut

klasifikasi tanah serta menggolongkannya menurut jenis mineral tanah.

2. Analisis kadar air dan berat jenis tanah lempung terhadap penggunaan lapisan tanah dasar.
3. Analisis batas-batas konsistensi untuk mengklasifikasikan hasil uji batas cair dan batas plastis golongan tanah lempung terhadap analisis tanah lempung plastis tinggi terhadap konstruksi jalan raya.
4. Analisis hasil kuat tekan bebas dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan tekan bebas tanah kohesif dalam keadaan asli maupun keadaan buatan.
5. Analisis hasil pemadatan (Uji Proctor)
Analisis hasil pemadatan tanah asli dan variasi campuran LGA dilakukan guna mengetahui nilai kadar air optimum terhadap peningkatan kepadatan tanah dasar (*subgrade*).
6. Analisis hasil uji CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman tanah asli dan variasi campuran LGA terhadap peningkatan daya dukung tanah dasar. Analisis ini digunakan untuk mencari hubungan penambahan LGA terhadap nilai CBR yang dituangkan dalam grafik serta analisa mengenai tanah yang memiliki kuat dukung yang rendah setelah diberi bahan stabilisasi LGA dapat dijadikan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

7. Analisis uji pengembangan

Analisis ini digunakan untuk mencari hubungan penambahan LGA terhadap nilai *swelling* untuk pertimbangan desain, analisis pondasi konstruksi perkerasan jalan dan metode konstruksi pada tanah lempung.

8. Analisis SEM dan Kimia

Analisis SEM untuk melihat kandungan mineral serta celah atau pori dari tanah sebelum dan sesudah distabilisasi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Fisis Tanah

Pengujian karakteristik fisis tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan distabilisasi.

1. Pengujian analisis butiran tanah

Pengujian analisis butiran tanah yang dilakukan yaitu uji analisa saringan dan uji analisa hidrometer. Hasil pengujian analisa saringan terdapat pada Tabel 16 sedangkan hasil pengujian hydrometer pada Tabel 17.

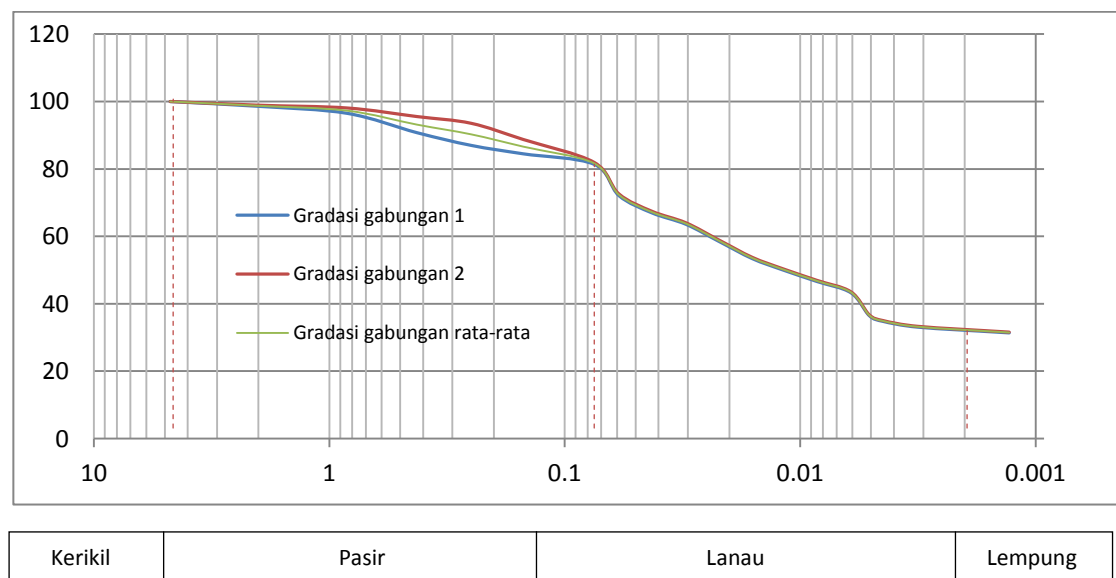
Tabel 16. Hasil uji analisa saringan

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0.05	0.05	0.01	99.99
10	2	6.30	6.35	1.27	98.73
18	0.84	7.26	13.61	2.72	97.28
40	0.425	20.66	34.27	6.85	93.15
60	0.25	14.46	48.73	9.75	90.25
100	0.15	18.28	67.01	13.40	86.60
200	0.075	24.75	91.77	18.35	81.65
Pan	-	408.23	500.00	100.00	0.00

Tabel 17. Hasil pengujian analisis hidrometer

Waktu (menit)	T (°C)	R	Rcp	% Butiran Halus a.Rcp/Ws x 100 %	Rcl	L (cm)	K	D=K (L/t) ^{0,5}
0.25	28	42.00	45.50	94.81	43.00	9.40	0.01322	0.08106
0.5	28	39.00	42.50	88.56	40.00	9.90	0.01322	0.05883
1	28	36.00	39.50	82.30	37.00	10.40	0.01322	0.04263
2	28	34.00	37.50	78.14	35.00	10.70	0.01322	0.03058
4	28	31.00	34.50	71.89	32.00	11.20	0.01322	0.02212
8	28	28.00	31.50	65.63	29.00	11.70	0.01322	0.01599
15	28	26.00	29.50	61.47	27.00	12.00	0.01322	0.01182
30	28	24.00	27.50	57.30	25.00	12.40	0.01322	0.00850
60	28	22.00	25.50	53.13	23.00	12.70	0.01322	0.00608
90	28	18.00	21.50	44.80	19.00	13.30	0.01322	0.00508
120	28	17.00	20.50	42.71	18.00	13.50	0.01322	0.00443
240	28	16.00	19.50	40.63	17.00	13.70	0.01322	0.00316
1440	28	15.00	18.50	38.55	16.00	13.80	0.01322	0.00129

Hasil pengujian distribusi butiran gabungan tanah asli tercantum pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik distribusi butiran gabungan

Banyaknya presentasi suatu fraksi dalam tanah dapat diketahui dari perpotongan kurva dengan batas-batas butir fraksi. Dari kurva dapat dilihat persentasinya yaitu :

Kerikil = 0,01 %
 Pasir = 18,35% - 0.01 = 18,34 %
 Lempung = 32,53 %
 Lanau = 81,65% – 32,53 % = 49,12 %

Tabel 18. Persentase analisis butiran tanah

Kriteria tanah	Analisis butiran tanah (%)
Kerikil	0,01
Pasir	18,34
Lanau	49,12
Lempung	32,53

2. Pengujian kadar air tanah

Tabel 19. Hasil uji kadar air tanah

No.	Percobaan	Satuan	Test number				
			1	2	3	4	5
1.	Weight of countainer	gr	9.16	10.22	8.51	9.67	8.42
2.	Weight of countainer + weight of wet soil	gr	59.34	57.29	48.44	53.11	50.39
3.	Weight of countainer + weight of dry soil	gr	52.57	51.06	42.94	47.16	44.63
4.	Weight of water(2-3)	gr	6.77	6.23	5.5	5.95	5.76
5.	Weight of dry soil (3-1)	gr	43.41	40.84	34.43	37.49	36.21
6.	Water content (4/5)x100	%	15.60	15.25	15.97	15.87	15.91
Average of water content		%	15.61				

Dari hasil pengujian kadar air tanah diperoleh nilai kadar air tanah asli sebesar 15,61%.

3. Pemeriksaan berat jenis

Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis suatu sampel tanah, berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu biasanya diambil pada suhu 27⁰ C. Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 20 berikut ini :

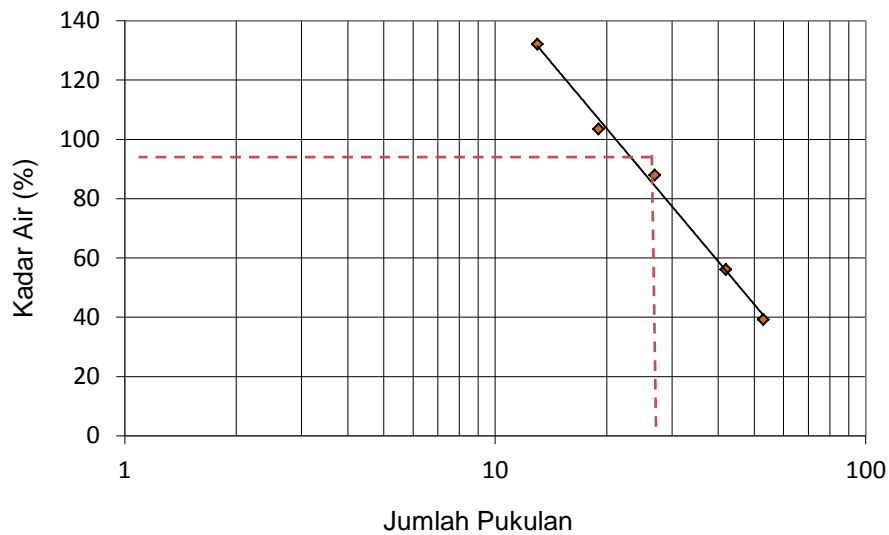
Tabel 20 . Hasil uji berat jenis spesifik (Gs)

Nomor percobaan	I	II	III	IV	V
Berat piknometer, W_1 (gram)	52.45	53.72	52.45	53.72	52.45
Berat piknometer + air, W_2 (gram)	150.17	151.46	150.14	151.39	150.15
Berat piknometer + air + tanah, W_3 (gram)	180.86	182.16	180.84	182.18	180.9
Berat tanah kering, W_s (gram)	50	50	50	50	50
Temperatur, ⁰ C	27	28	28	28	27
Faktor koreksi, $a = (\gamma_T/\gamma_{20})$	0.9983	0.9944	0.9944	0.9944	0.9983
Berat jenis, Gs	2.585	2.576	2.576	2.588	2.593
Berat jenis rata-rata, Gs	2.584				

4. Pengujian batas-batas konsistensi

a. Pengujian batas cair

Pengujian batas cair bertujuan untuk menentukan batas cair tanah dan untuk mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dari bagian tanah yang mempunyai ukuran butir lolos saringan No.40. contoh hasil pengujian dari batas cair dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik hasil uji hubungan antara jumlah pukulan dengan kadar air

Dari Gambar 14 diketahui pada ketukan ke 25 pengujian batas cair didapatkan rumus :

$$Y = -64,6 \ln(x) + 297,3 \quad x = \text{jumlah ketukan.}$$

Sehingga didapatkan nilai batas cair rata-rata sebesar 87,17%

b. Pengujian batas plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Contoh hasil dari pengujian batas plastis dapat dilihat pada Tabel 21.

Dari pengujian batas cair dan batas plastis diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Batas Cair (LL) = 87,17 %, Batas Plastis (PL) = 31,45 %,
2. Indeks Plastisitas (IP) = $LL - PL = 87,17 - 31,45 = 55,72\%$

Tabel 21. Hasil uji batas plastis

No Test		-	1	2	3	4	5
No. Container		-	A1	A2	A3	A4	A5
Berat Tanah Basah + Container, W1	Gram		11.18	12.49	10.7	13.64	14.15
Berat Tanah Kering + Container, W2	Gram		9.84	10.96	9.57	11.7	12.25
Berat Container, W3	Gram		5.64	6.23	5.97	5.81	6.68
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram		1.34	1.53	1.14	1.94	1.9
Berat Tanah Kering , (Wd=W2-W3)	Gram		4.2	4.73	3.6	5.89	5.57
Batas Plastis, Ww/Wd x 100%	%		31.90	32.35	31.67	32.94	34.11
Rata - Rata, Ww/Wd x 100%	%				32.59		

c. Aktivitas tanah berbutir halus

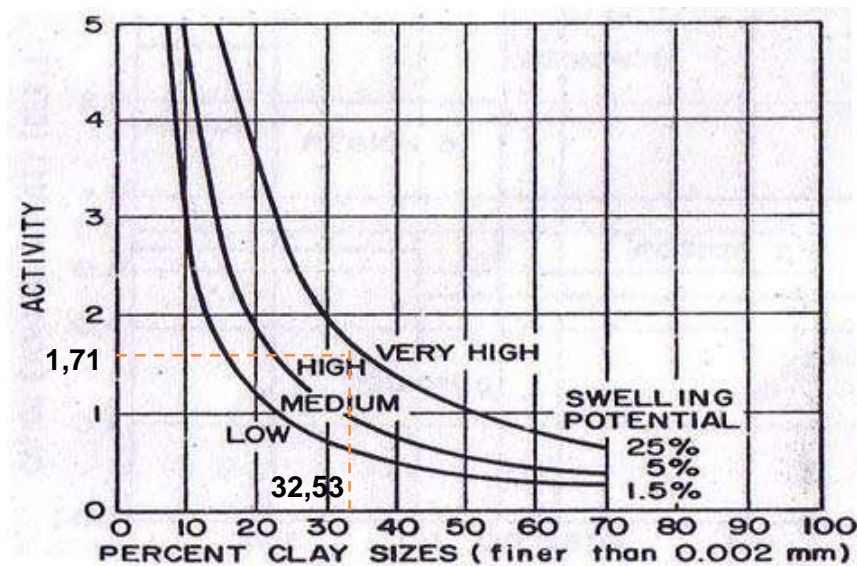
Aktivitas adalah indeks yang menggambarkan kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Nilai aktivitas merupakan perbandingan nilai indeks plastisitas dengan besaran fraksi lempung. Perhitungan seperti yang terlihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Hasil perhitungan nilai aktivitas

No.	Pengujian	Nilai
1.	Indeks plastisitas (IP) %	55,72 %
2.	Prosentase fraksi lempung lebih kecil dari 0,002 mm (C) %	32,53 %
3.	$Aktivitas A = \frac{IP}{C}$	1,71

Dengan diperolehnya nilai aktivitas (A) maka dapat diketahui potensi swellingnya dengan cara memplotkan nilai aktivitas (A) dan persentasi kadar lempung pada tanah ke dalam diagram klasifikasi tanah lempung

yang menggolongkan tanah berdasarkan potensi pengembangannya kedalam 4 golongan yaitu, potensi pengembangan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

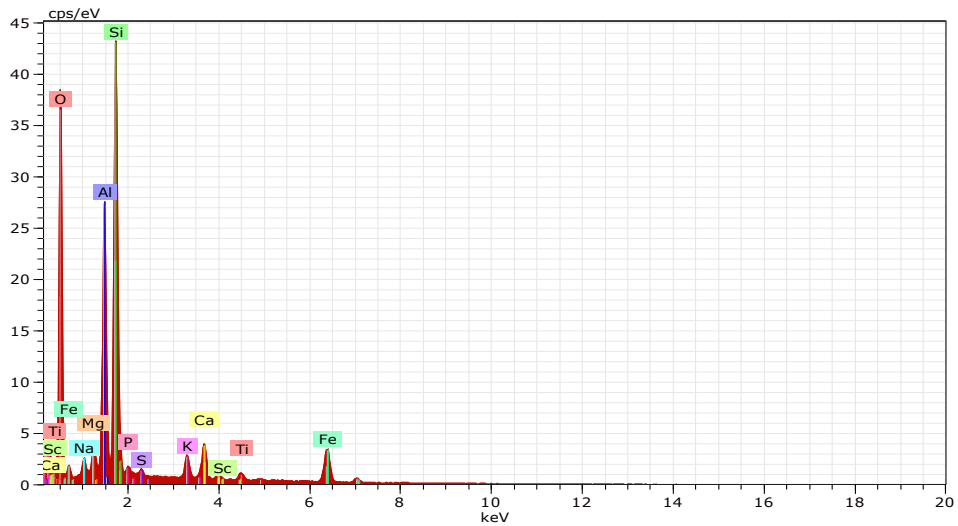


Gambar 15. Grafik hasil uji hubungan antara persentasi butiran lempung dan aktivitas (Jhon D. Nelson dan Debora J Miller, 1991)

Dapat dilihat pada Gambar 15 bahwa tanah berbutir halus yang diuji termasuk tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan yang tinggi.

B. Karakteristik Kimiawi Tanah Asli dan Asbuton LGA

Dari hasil pemeriksaan SEM dapat diketahui mineral yang terkandung dalam tanah uji ditampilkan pada Gambar 16 dan Tabel 23 sedangkan mineral yang terkandung dalam LGA ditampilkan pada Gambar 17 dan Tabel 24.



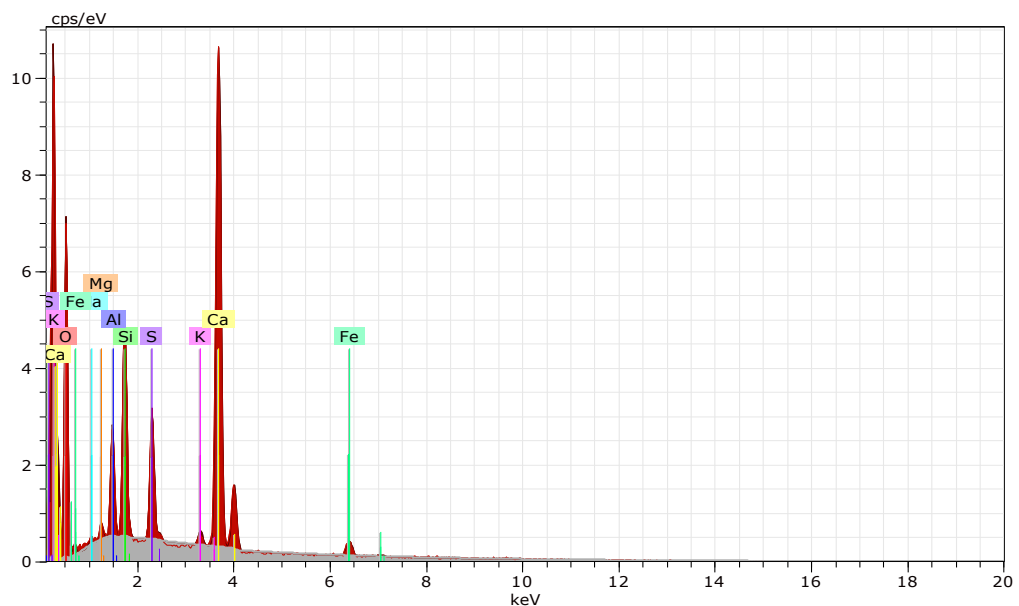
Gambar 16. Grafik kandungan tanah asli.

Dari gambar terlihat tanah asli didominasi oleh silikat (Si), aluminium (Al), dan oxygen (O), sedangkan unsur yang lain hanya sebagian kecil.

Tabel 23. Kandungan kimia tanah asli

Mineral	Komposisi (%)
Silicon (SiO ₂)	45,17
Aluminium (Al ₂ O ₃)	27,75
Sodium (Na ₂ O)	2,21
Potassium (K ₂ O)	2,19
Calcium (CaO)	4,69
Magnesium (MgO)	2,86
Iron (FeO)	10,87
Sulfur (SO ₃)	1,08
Posphor (P ₂ O ₅)	1,57
Titanium (TiO ₂)	1,62

Dari hasil pengujian komposisi kimia tanah asli menunjukkan bahwa unsur-unsur pembentuk tanah adalah silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), Sodium (Na_2O), Potassium (K_2O), Calcium (CaO), Magnesium (MgO), Iron (FeO), Sulfur (SO_3), Posphor (P_2O_5) dan Titanium (TiO_2). Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbandingan antara silikat dengan aluminat sekitar 2:1.



Gambar 17. Grafik kandungan LGA

Dari hasil pengujian komposisi kimia LGA menunjukkan bahwa unsur-unsur pembentuk LGA adalah silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), Sodium (Na_2O), Potassium (K_2O), Calcium (CaO), Magnesium (MgO), Iron (FeO), dan Sulfur (SO_3).

Tabel 24. Kandungan kimia LGA

Mineral	Komposisi (%)
Silicon (SiO ₂)	17,24
Aluminium (Al ₂ O ₃)	9,25
Sodium (Na ₂ O)	1,01
Potassium (K ₂ O)	1,04
Calcium (CaO)	52,22
Magnesium (MgO)	1,54
Iron (FeO)	4,01
Sulfur (SO ₃)	13,7

Dengan adanya kandungan kapur Aktif (CaO) pada LGA menunjukkan bahwa LGA ini dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. Unsur Si dan Al pada tanah lempung ekspansif jika direaksikan dengan kapur aktif (CaO), dalam jangka waktu tertentu akan terjadi reaksi pergantian ion yang dilanjutkan dengan reaksi *pozzolanic* dan membentuk: Calsium silikat hidrat (C-S-H) atau Calsium Aluminat hidrat (C-A-H) atau bahkan dapat membentuk Calsium silikat aluminat hidrat (C-S-A-H). bahan pengikat (*gel*) CSH menyebabkan terjadinya pengikatan antara butiran tanah yang dapat mengakibatkan kekuatan tanah bertambah.

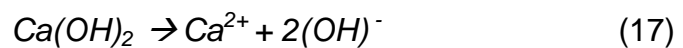
Proses persenyawaan antara butiran tanah dengan LGA dapat diterangkan sebagai berikut:

Tahap I : Dengan adanya kandungan kapur dalam LGA maka dilakukan pencampuran dengan tanah. Pada saat pencampuran berlangsung kapur akan mengabsorbsi air yang ada di dalam

pori tanah dan akan terjadi proses dengan reaksi kimia sebagai berikut:



Tahap II : Setelah terbentuk kapur padam maka dalam air, Ca(OH)_2 akan terurai menjadi ion Ca^{++} dan $(\text{OH})^-$ dengan reaksi ion yang terjadi yaitu:



Pada reaksi ini menyebabkan air pori dalam tanah berubah menjadi pipa kapiler, melepaskan ion $(\text{OH})^-$, sehingga pH tanah akan bertambah.

Tahap III : Pada tahap ini ion Ca^{++} dan $(\text{OH})^-$ yang terurai pada tahap kedua akan bersenyawa dengan mineral lempung melalui reaksi pertukaran ion dengan reaksi kimia sebagai berikut:

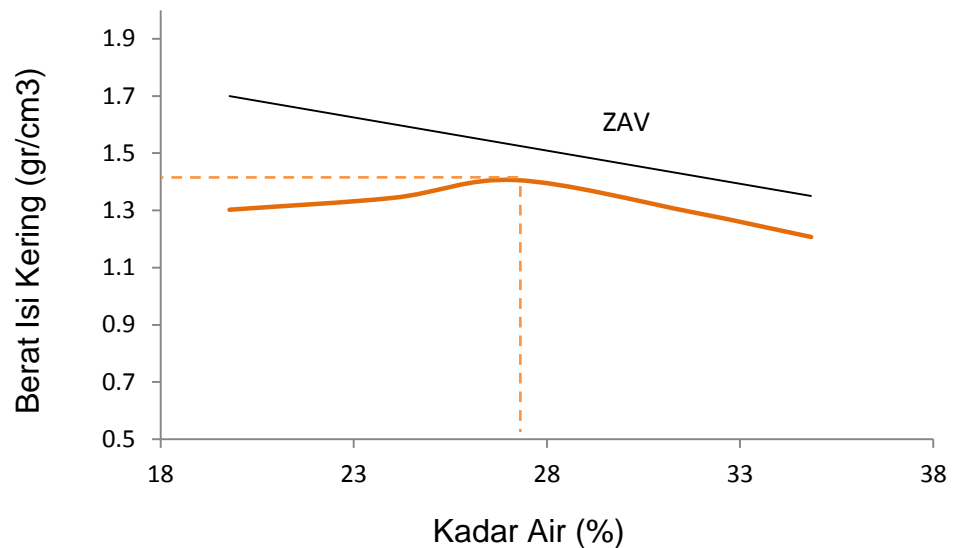


Calcium Silicate Hydrates yang terbentuk bersifat *Pozzoloand* yang dapat mengikat lempung semakin keras.

C. Karakteristik Mekanis Tanah

1. Pengujian pemadatan tanah (*Modified Proctor Test*)

Uji pemadatan standart ini di lakukan untuk mengetahui berat kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC).



Gambar 18. Kurva hubungan kadar air dengan berat isi kering

Dari Gambar 18 pada pengujian pemadatan modifikasi (*proctor test*) diperoleh kadar air maksimum pada Tanah Asli adalah $w_{opt} = 27,19\%$ dan berat isi kering maksimumnya $\gamma_{d maks} = 1,406 \text{ gr/cm}^3$.

Pada prinsipnya pemadatan tanah merupakan suatu proses dimana partikel tanah saling berdekatan, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil akibat tumbukan mekanik. Dengan melakukan pemadatan tanah pada kondisi kadar air yang mendekati optimum, rongga udara dapat dieliminir sehingga perubahan kadar air pun berkurang. Pemadatan yang baik pada timbunan badan jalan akan mengurangi bahkan meniadakan penurunan timbunan. Melalui pemadatan tanah yang baik kuat geser tanah akan meningkat dan tahan terhadap deformasi.

2. Pengujian CBR (California Bearing Ratio)

Pengujian CBR bertujuan untuk menentukan kekokohan permukaan lapisan tanah yang umumnya akan dipakai sebagai sub-base (urugan) atau sub-grade (lapisan tanah dasar) konstruksi jalan. Pada pengujian CBR dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman, dengan menggunakan variasi campuran LGA yang berbeda.

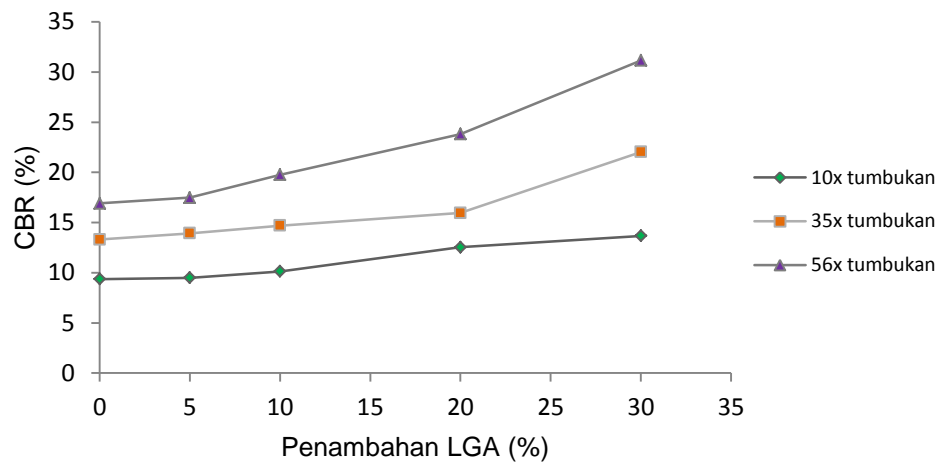
a. CBR tanpa rendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) adalah pengujian yang dilakukan didalam laboratorium tanpa direndam melainkan langsung dilakukan pengujian dengan menggunakan alat pengujian CBR.

Tabel 25 menunjukkan nilai CBR yang tidak direndam akan menunjukkan perubahan seiring dengan persentase campuran LGA serta kadar air yang terkandung didalamnya.

Tabel 25. Hasil pengujian CBR tanpa rendaman (*unsoaked*)

No	Variabel	Pengujian CBR <i>Unsoaked</i>		
		10 x Tumbukan	35 x Tumbukan	56x Tumbukan
1.	Tanah Asli	9.37	13.30	16.91
2.	Camp 5% LGA	9.50	13.93	17.48
3.	Camp 10% LGA	10.13	14.69	19.76
4.	Camp 20% LGA	12.54	15.96	23.81
5.	Camp 30% LGA	13.68	22.04	31.16



Gambar 19. Grafik gabungan uji CBR *Unsoaked* untuk variasi tumbukan

Hasil pengujian CBR *unsoaked* dengan variasi tumbukan pada Gambar 19 menunjukkan nilai CBR *unsoaked* cenderung meningkat seiring banyaknya jumlah tumbukan. Nilai CBR *unsoaked* maksimum terjadi pada kadar 30% LGA dengan kenaikan untuk 10 kali tumbukan (13,68%), 35 kali tumbukan (22,04%) dan 56 kali tumbukan (31,16%).

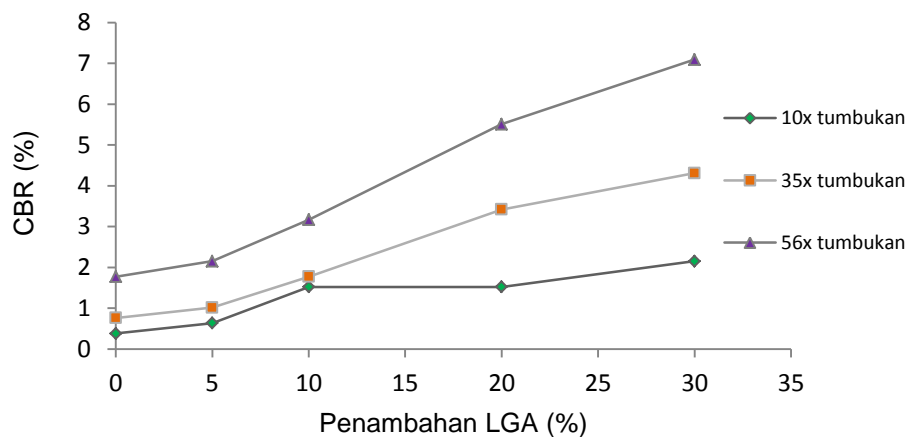
b. CBR rendaman (*Soaked*)

Pengujian CBR rendaman adalah pengujian yang di lakukan didalam Laboratorium mekanika tanah yang bertujuan untuk mencari besarnya nilai CBR, dan nilai pengembangan CBR didalam keadaan jenuh air, sehingga tanah mengalami pengembangan yang maksimum, yang berarti tanah dan cetakan direndam didalam air selama 4 hari.

Hasil dari pengujian CBR tanpa rendaman dengan variasi pencampuran dan tumbukan dapat dilihat dalam Tabel 26 dan Gambar 20.

Tabel 26. Hasil pengujian CBR rendaman (*Soaked*)

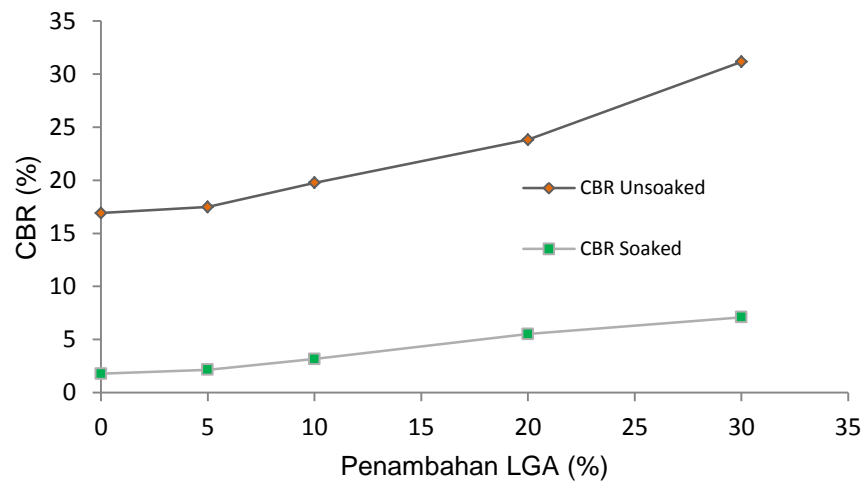
No.	Variabel	Pengujian CBR <i>Soaked</i>		
		10 x Tumbukan	35 x Tumbukan	56x Tumbukan
1.	Tanah Asli	0.38	0.76	1.77
2.	Camp 5% LGA	0.63	1.01	2.15
3.	Camp 10% LGA	1.52	1.77	3.17
4.	Camp 20% LGA	1.52	3.42	5.51
5.	Camp 30% LGA	2.15	4.31	7.09



Gambar 20. Grafik gabungan uji CBR *soaked* untuk variasi tumbukan

Dari Tabel 26 diperoleh nilai CBR *soaked* tanah asli untuk 56 kali tumbukan hanya 1,77% menunjukkan bahwa nilai tersebut tidak memenuhi spesifikasi kekuatan tanah dasar jalan raya sesuai yang dipersyaratkan (persyaratan nilai CBR > 6%). Dengan adanya penambahan 30% LGA untuk 56 kali tumbukan maka didapatkan nilai CBR *soaked* 7,09% maka sudah sesuai spesifikasi tanah dasar.

Perbandingan Nilai CBR tanpa rendaman dengan rendaman seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Hubungan antara nilai CBR soaked & unsoaked dengan kadar LGA untuk 56 kali tumbukan

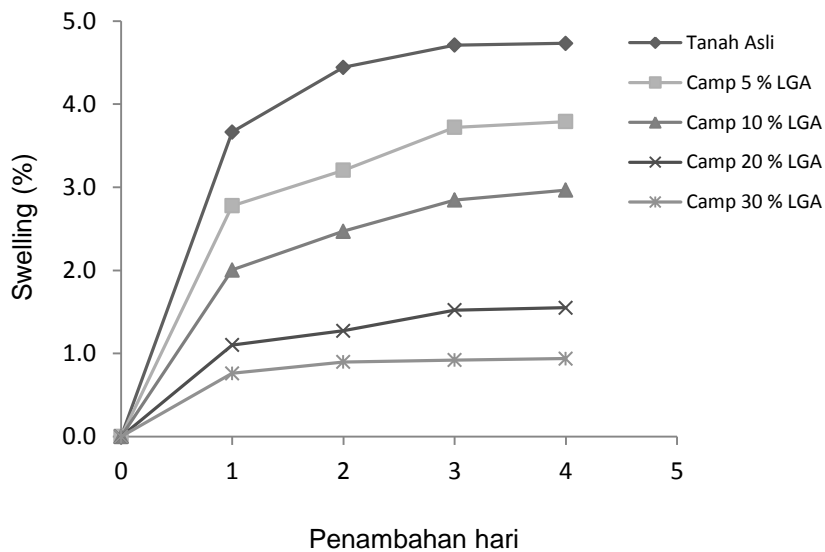
Dari Gambar 21 terlihat kecenderungan adanya peningkatan nilai CBR terjadi sampai pada kadar 30% LGA., sehingga terlihat pada kadar 30% LGA sangat ideal sebagai bahan stabilisasi.

3. Pengujian pengembangan (*swelling*)

Pengembangan (*swell*) ialah perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula, dinyatakan dalam persen. Dari pengujian CBR rendaman didapatkan pula nilai-nilai hasil pengembangan, dimana nilai hasil pengembangan CBR rendaman maksimum untuk 56 kali tumbukan dapat dilihat dalam Tabel 27 dan Gambar 22. Dari Tabel 27 terlihat terjadi peningkatan pengembangan dari hari pertama sampai hari terakhir.

Tabel 27. Hasil uji pengembangan untuk 56 kali tumbukan

Variabel	Pembacaan awal (mm)	Hari I (mm)	Hari II (mm)	Hari III (mm)	Hari IV (mm)
Tanah Asli	0	6.45	7.82	8.29	8.33
Camp 5 % LGA	0	4.89	5.64	6.55	6.67
Camp 10 % LGA	0	3.53	4.35	5.01	5.22
Camp 20 % LGA	0	1.94	2.24	2.68	2.73
Camp 30 % LGA	0	1.34	1.58	1.62	1.65

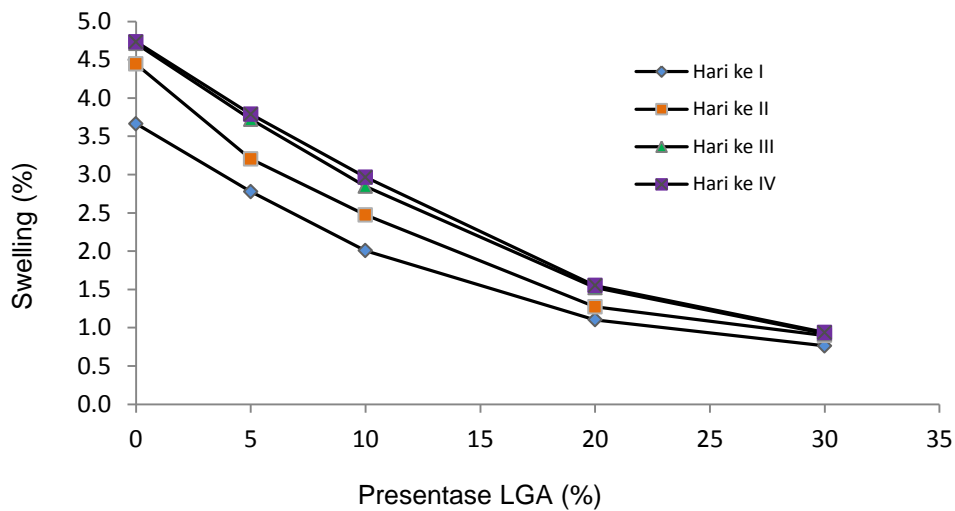


Gambar 22. Grafik gabungan korelasi hubungan swelling dengan hari dengan 56 kali tumbukan

Berdasarkan hasil Tabel 27 maka nilai pengembangan pada kondisi tanah asli + 30% LGA dapat diplotkan kedalam rumus pengembangan dibawah ini :

$$\text{Pengembangan} = \frac{\text{Tinggi akhir}-\text{Tinggi Awal}}{\text{Tinggi Awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{177,65 - 176}{176} \times 100\% = 0,94 \%$$



Gambar 23. Grafik gabungan korelasi hubungan swelling dengan presentase LGA dengan 56 kali tumbukan

Gambar 23 menunjukkan bahwa penambahan LGA dengan kadar 30% sangat baik untuk mereduksi pengembangan tanah ekspansif, yaitu dari 4,73% menjadi 0,94% pada tanah campuran yang di rendam selama 4 hari.

Dari hasil pengujian *swelling* yang perlu dipertimbangkan terhadap terangkatnya pondasi dari kedudukan semula akibat mengembangnya tanah lempung. Gaya angkat yang cenderung mencabut pondasi dari tanah merupakan fungsi langsung terhadap tekanan mengembang.

Suatu hal yang penting tentang perilaku tanah lempung adalah pengembangan yang berakibat kurang baik terhadap kestabilan fondasi (tanah dasar). Pengaruh tanah lempung terhadap pondasi konstruksi

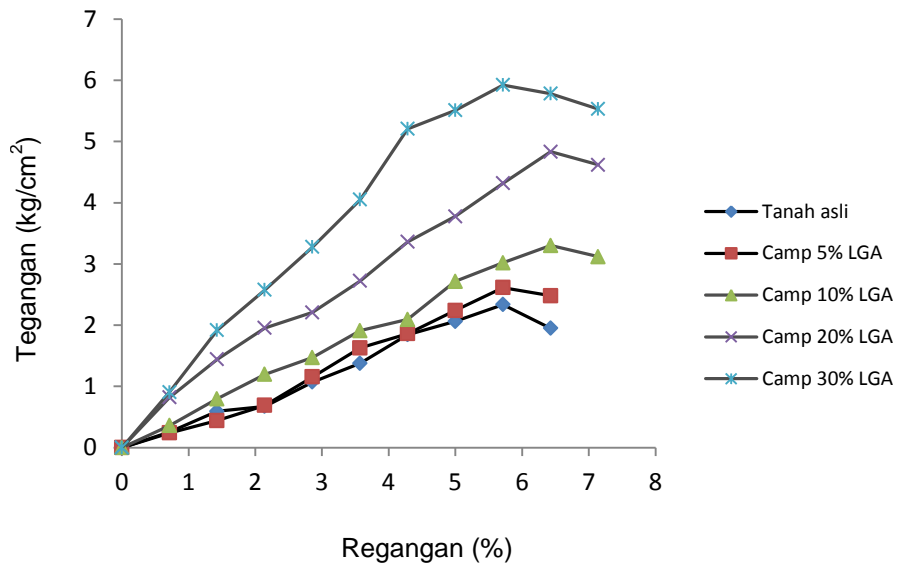
jalan atau jembatan adalah gaya angkat yang terjadi pada daerah zona basah. Oleh karena itu penempatan pondasi harus mencapai lapisan tanah keras mencapai lapisan zona aktif dimana dimensi fondasi pada bagian bawah dapat diperbesar. Bagian ini mencakup cara desain dan penentuan besaran pengembangan tanah lempung yang berada di bawah badan jalan. Desain perkerasan meliputi perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang menyangkut waktu atau umur pelayanan yang dibutuhkan kapan perkerasan tersebut harus dilakukan lapis ulang. Sangat penting bagi jalan-jalan di tanah berkohesi dengan plastisitas yang tinggi untuk memiliki sistim drainase yang baik sehingga air hujan dapat segera dialirkan dan tidak menggenang di badan jalan. (Zultan, 2011)

4. Pengujian kuat tekan bebas (UCS)

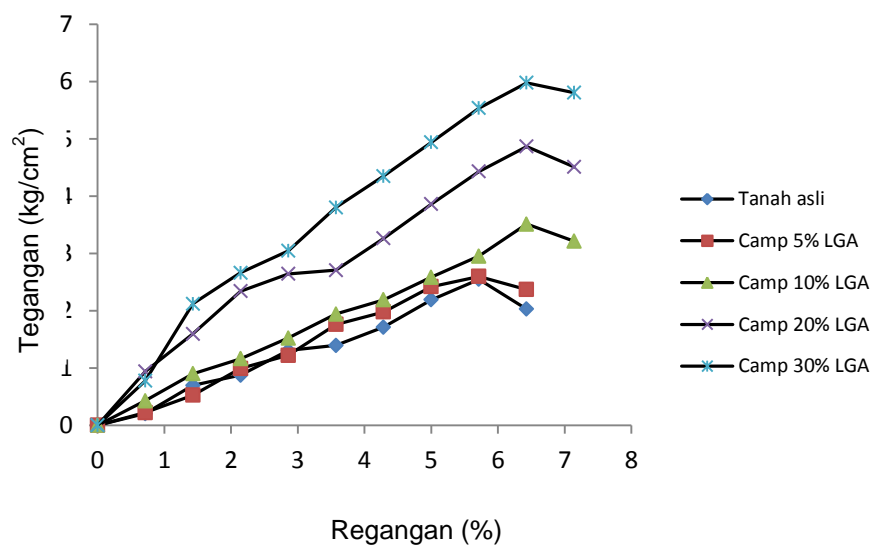
Dalam mengetahui karakteristik mekanis tanah sebagai bahan stabilisasi tanah lempung espansif dilakukan pengujian UCS dengan tujuan mendapatkan nilai kekuatan tanah dalam keadaan bebas sampai mencapai keruntuhan. Komposisi campuran pengujian kuat tekan bebas (UCS) dengan variasi stabilisasi LGA setelah mengalami masa pemeraman (*curing time*) 28 hari diperoleh nilai kuat tekan bebas, seperti yang diperlihatkan pada gambar untuk variasi stabilisasi LGA.

Dari gambar hasil pengujian kuat tekan bebas, menunjukkan bahwa hasil pengujian Kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*) pada umur 1 hari hingga 28 hari kecenderungan nilai UCS dengan penggunaan LGA adalah mirip dengan kecenderungan nilai CBR, yaitu

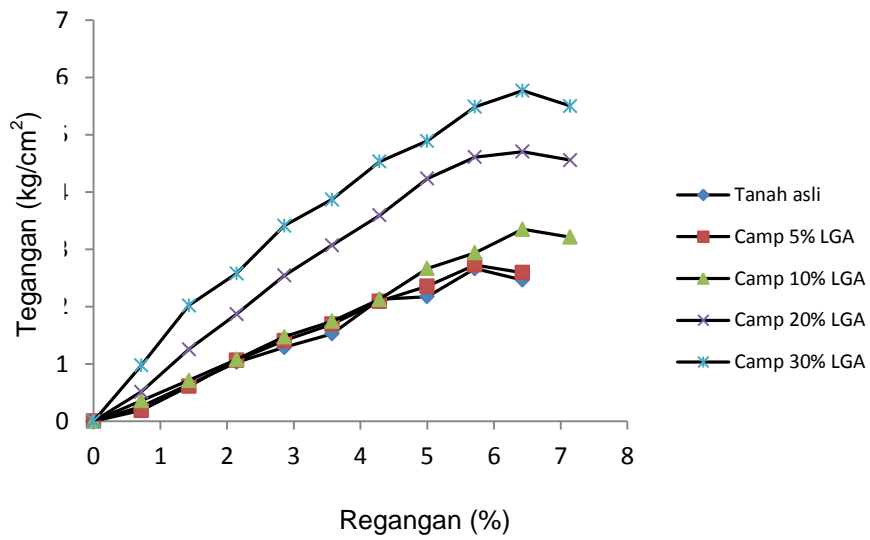
nilai UCS yang semakin meningkat. Kuat tekan bebas maksimum terbesar terjadi pada kadar LGA 30%.



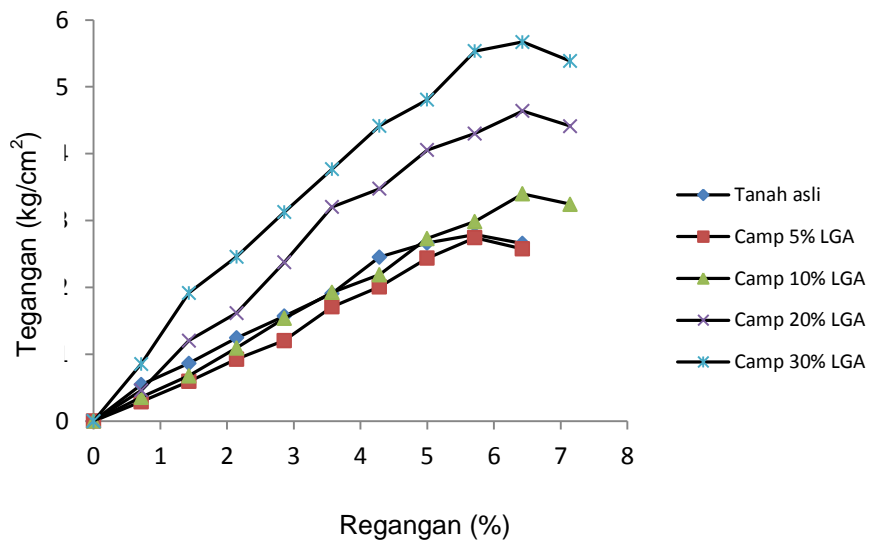
Gambar 24. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, untuk peram 1 hari.



Gambar 25. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, untuk peram 7 hari.



Gambar 26. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, untuk peram 14 hari.



Gambar 27. Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas, untuk peram 28 hari.

D. Pembahasan

1. Sifat – sifat tanah uji

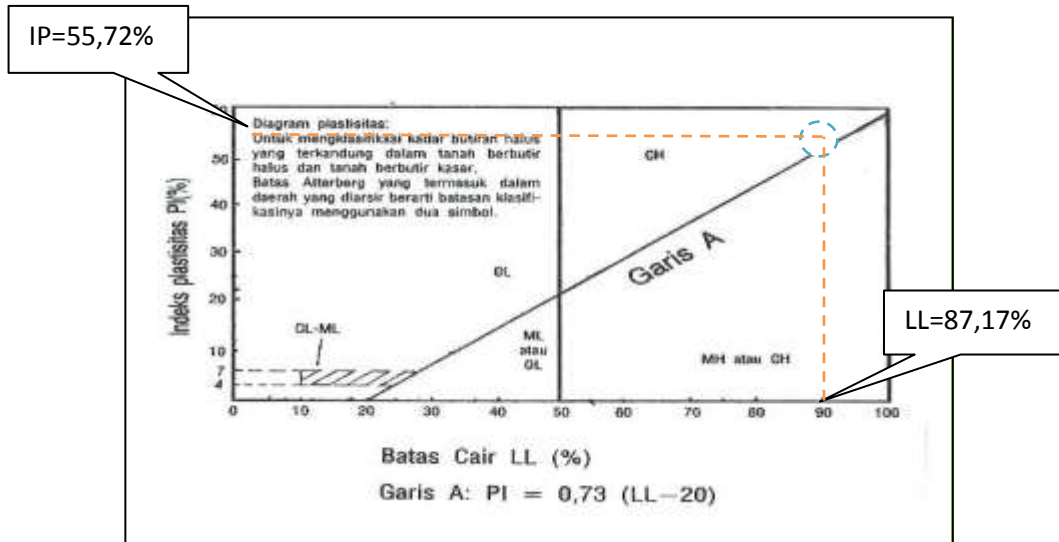
Dari hasil pengujian sifat fisik tanah didapatkan data seperti yang terlihat pada Tabel 28.

Tabel 28. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan
1. Kadar air asli	15,61 %
2. Berat jenis spesifik	2,584
3. Gradasi butiran	Kerikil = 0,01% Pasir = 18,34% Lanau = 49,12% Lempung = 32,53%
4. Batas-batas Atterberg	Batas cair (LL) = 87,17% Batas plastis (PL) = 31,45% Batas susut (SL) = 11,78%
5. Klasifikasi tanah	USCS → CH (termasuk dalam klasifikasi tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi) AASHTO → A-7-5 (Tanah berlempung)
6. Nilai aktivitas	1,71

Dari hasil yang didapatkan terlihat bahwa 81,65% tanah uji lolos saringan no. 200 sehingga dapat digolongkan ke dalam jenis tanah berbutir halus. Dari hasil pengujian batas-batas Atterberg didapatkan nilai batas cair 87,17% dan indeks plastisitas 55,72% sehingga dapat

ditentukan jenis tanah dengan memplotkan nilai batas cair dan indeks plastisitas kedalam grafik plastisitas sistem klasifikasi *Unified*.



Gambar 28. Grafik hasil uji plastisitas sistem klasifikasi *unified*

Dengan melihat hasil pada Gambar 28, maka didapatkan bahwa sampel tanah yang diuji termasuk golongan CH yaitu tanah lempung anorganik dengan tingkat Plastisitas Tinggi (CH).

Selanjutnya untuk mengklasifikasikan tanah yang diuji kedalam Klasifikasi AASHTO adalah dengan berdasarkan uji analisa distribusi butiran serta hasil uji batas-batas aterrberg yaitu sebagai berikut :

Tanah lolos saringan No 200	=	81,65%
Batas cair (LL)	=	87,17 %
Batas Plastis (PL)	=	31,45 %
Indeks plastisitas (IP)	=	55,72 %

Maka Nilai indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F-35) \{ 0,2 + 0,005 (LL - 40) \} + 0,01 (F-15) (PI-10)$$

dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persen tanah lolos saringan no. 200

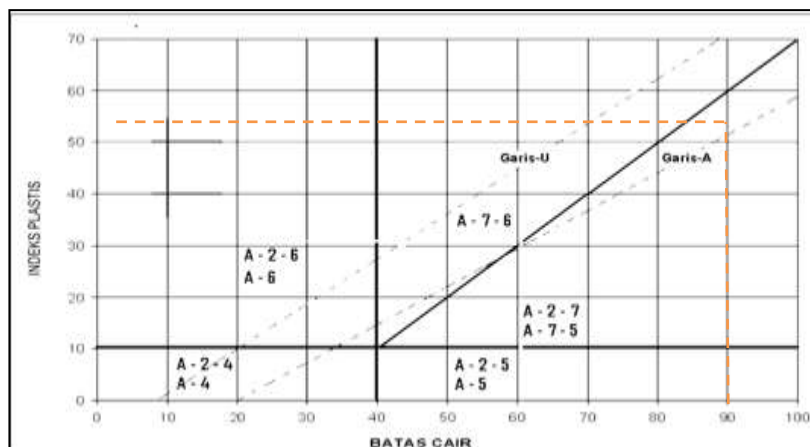
LL = Batas Cair

PI = Indeks Plastisitas

$$GI = (81,65 - 35) \{ 0,2 + 0,005 (87,17- 40) \} + 0,01 (81,65 - 15) (55,72- 10)$$

= 51 (dibulatkan).

Hasil pengujian tersebut diplotkan kedalam grafik plastisitas system klasifikasi AASHTO yang merupakan grafik yang menunjukkan batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks Plastisitas (IP). Adapun hasil dari grafik tersebut dapat dilihat dalam Gambar 29.

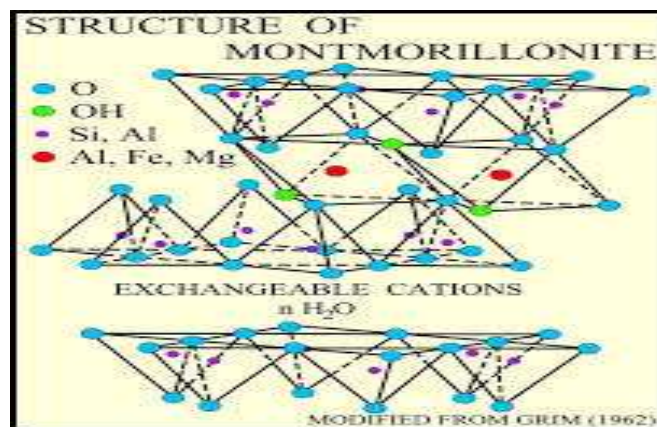


Gambar 29. Grafik hasil uji plastisitas sistem klasifikasi AASHTO

Dari gambar grafik plastisitas dapat diketahui kelompok tanah A-7 yaitu tanah berlempung. Hasil Uji Bila batas plastis (PL) = 31,45 % > 30

%, dan (GI) = 51, maka tergolong jenis Tanah lempung Klasifikasi A-7-5 dengan plastisitas tinggi.

Tanah lempung akan dikatakan memiliki potensi pengembangan tinggi (ekspansif) bilamana mayoritas dari mineral penyusun tanah tersebut adalah mineral *montmorillonite*. Mineral ini memiliki permukaan tetrahedral yang cukup luas sehingga mampu menyerap air dalam jumlah yang cukup besar. *Montmorillonite* terdiri dari tiga unit lapisan, yaitu dua unit lapisan tetrahedral (mengandung ion silika) mengapit satu lapisan oktahedral (mengandung ion besi dan magnesium). Mineral *montmorillonite* ini memiliki rumus kimia $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.



Gambar 30. Struktur mineral *montmorillonite*

Melihat hasil foto SEM tanah asli dengan kandungan silikat dan aluminat sekitar 2:1, maka tanah sampel dapat dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif. Hasil pengujian tanah ini kemungkinan akan berbeda jika sampel tanah diambil dari lokasi yang berbeda. Namun demikian, dengan melihat unsur-unsur kunci pembentuk tanah lempung

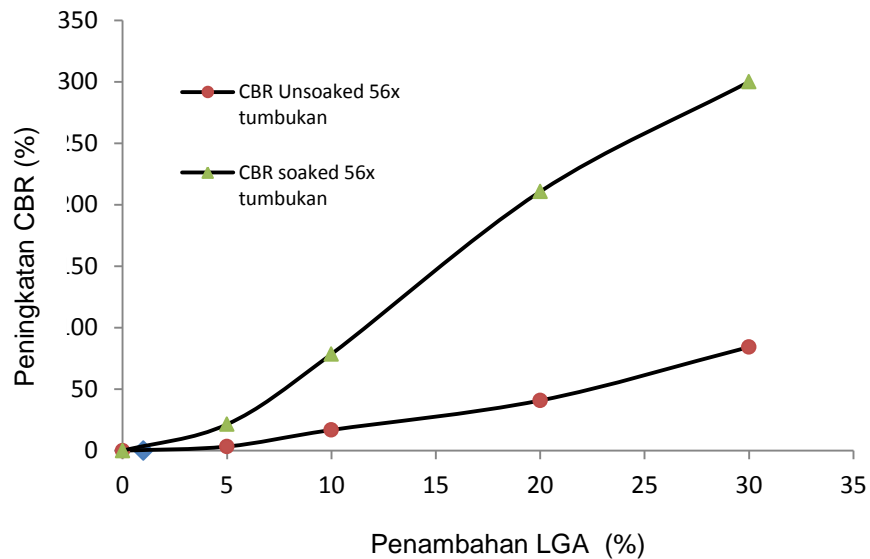
maka kita dapat menyimpulkan bahwa tanah tersebut merupakan tanah lempung ekspansif yaitu perbandingan antara silikat dan aluminat sekitar dua banding satu. Selain itu, indeks properties tanah juga menyimpulkan bahwa tanah lempung akan merupakan tanah lempung ekspansif bilamana indeks plastisitas tanah tersebut lebih besar atau sama dengan 35% ($IP \geq 35$).

Beban yang bekerja pada perkerasan jalan akan didukung oleh tanah dasar yang ditentukan oleh besarnya nilai CBR (California Bearing Ratio) dari tanah dasar tersebut. Maka tanah dasar yang berada di bawah jalan pada kedalaman -1.00 meter perlu diuji nilai CBR nya di laboratorium pada kondisi tidak direndam dan pada kondisi direndam

2. CBR *Unsoaked*

Gambar 31 menunjukkan bahwa penambahan LGA pada kadar 30% dengan butiran yang lebih banyak telah meningkatkan nilai daya dukung tanah asli secara signifikan. Tanah lempung semula memiliki kekuatan bahan yang jelek ditandai dengan nilai indeks plastisitas tinggi, memiliki daya rekat yang baik dan butirannya termasuk butiran halus dengan gradasi buruk. Butiran-butiran LGA yang lebih besar diisi rongga pori tanah sehingga menyebabkan sifat saling mengunci (*inter locking*), tekstur yang kasar dan sifatnya nonkohesif dapat mempengaruhi gradasi butirannya, dengan demikian semakin besar kepadatan, semakin tinggi daya dukung tanah dalam menahan beban. Hasil pengujian CBR *unsoaked* 56 kali tumbukan menunjukkan bahwa penambahan LGA

sebanyak 30% dapat meningkatkan nilai CBR sebesar 84,3% dari CBR tanah asli.



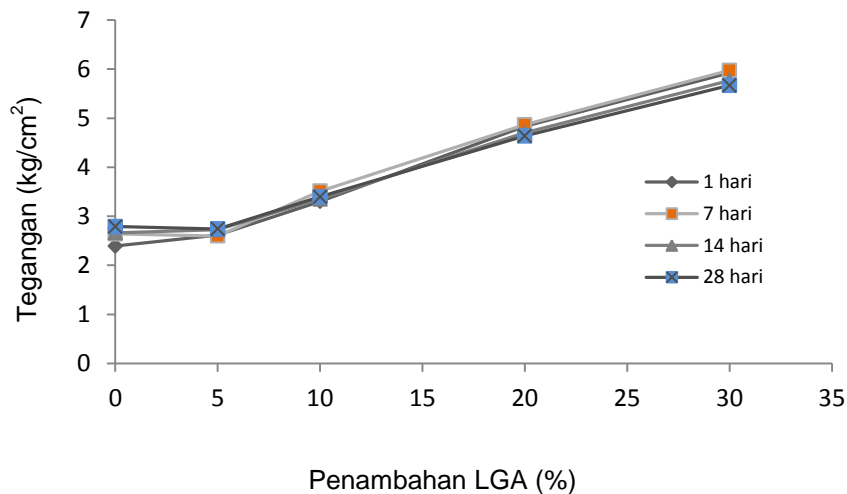
Gambar 31. Grafik penambahan LGA terhadap peningkatan nilai CBR *unsoaked* dan CBR *soaked*

3. CBR Soaked

Hasil pengujian CBR *soaked* 56 kali tumbukan pada Gambar 31 menunjukkan bahwa penambahan LGA sebanyak 30% dapat menaikkan nilai CBR *soaked* menjadi 7,03% atau sebesar 300% dari CBR *soaked* tanah asli maka dapat disimpulkan bahwa penambahan 30% LGA dapat digunakan sebagai tanah dasar.

4. Kuat tekan bebas

Dari hasil pengujian kuat tekan bebas diperoleh perilaku-perilaku berupa perubahan menyangkut sifat-sifat mekanis tanah setelah distabilisasi dengan variasi LGA terhadap waktu pemeraman.

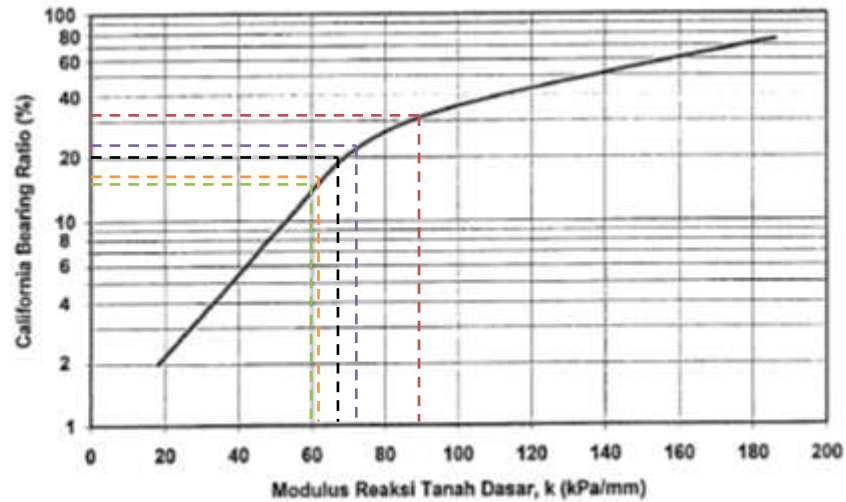


Gambar 32. Grafik Hubungan q_u dengan waktu pemeraman terhadap penambahan LGA

Gambar 32 memperlihatkan bahwa waktu pemeraman tidak mempengaruhi nilai UCS. Pada kondisi tanah asli dan penambahan LGA 5% nilai UCS terbesar terjadi pada pemeraman 28 hari, penambahan LGA 10%, 20% dan 30% nilai UCS terbesar pada pemeraman 7 hari. Hal ini mungkin disebabkan karena adanya kandungan aspal yang ada pada LGA sehingga kapur aktif (CaO) tidak mempengaruhi pemeraman. Dari pengujian kuat tekan bebas, penambahan 30% LGA dapat meningkatkan nilai UCS sampai 214% dari tanah asli.

Sebagai catatan CBR hanya untuk jalan saja dimana beban kendaraan adalah beban sementara (bukan beban tetap). CBR tidak untuk gedung, rumah dan lain-lain (beban hidup), karena beban tetap juga menyebabkan settlement. Berdasarkan nilai daya dukung suatu bahan jalan akan dipengaruhi oleh kualitas tanah, ikatan antara butir dan kepadatannya. Secara teoritis nilai Modulus Reaksi Tanah (k) dapat

ditentukan dari nilai CBR tanah dasar berdasarkan dari petunjuk perkerasan kaku Bina Marga.



Gambar 33. Hubungan antara nilai CBR dengan modulus reaksi tanah dasar

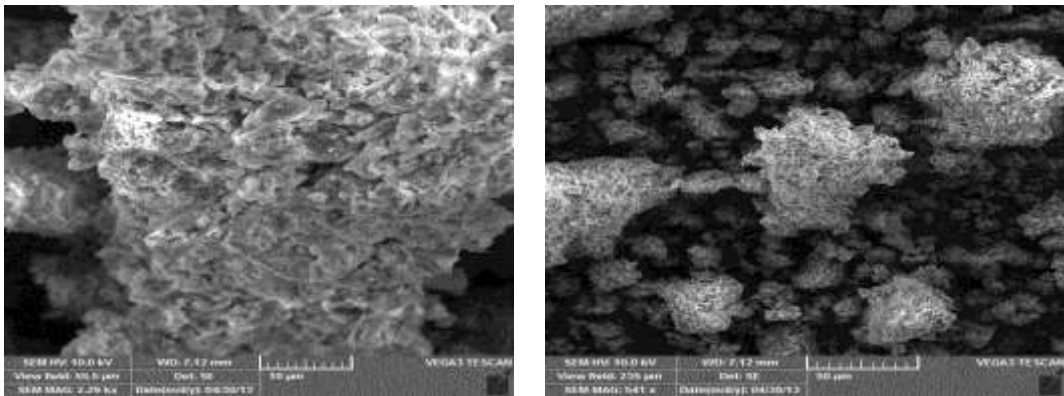
Bila nilai k lebih besar dari 120 kPa/mm (12 kg/cm³), maka nilai k dianggap sama dengan 120 kPa/mm (14 kg/cm³) dengan nilai CBR 50%. Gambar 33 dan Tabel 29 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai CBR maka nilai modulus reaksi tanah dasar akan semakin besar.

Tabel 29. Nilai CBR dan modulus reaksi tanah dasar (k) berdasarkan grafik

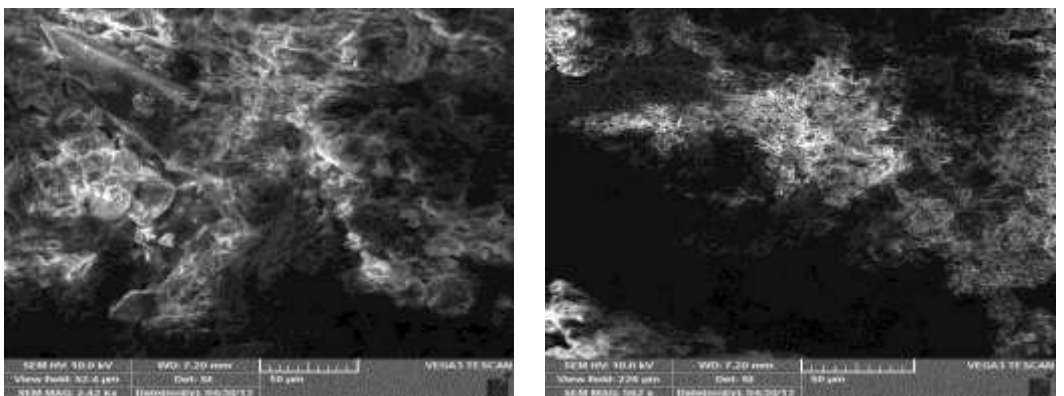
No	Variabel	Nilai CBR (%)	k (kPa/mm)
1.	Tanah Asli	16,91	60,5
2.	Campuran 5% LGA	17,48	63
3.	Campuran 10% LGA	19,76	70
4.	Campuran 20% LGA	23,81	74
5.	Campuran 30% LGA	31,16	91

5. Analisis uji mikroskopik SEM

Pengujian mikroskopik SEM memperlihatkan perbedaan-perbedaan struktur tanah asli, LGA dan campuran tanah asli dengan LGA 30% peram 7 hari.



Gambar 34. Hasil foto SEM tanah asli. (a) pembesaran 10 μm , (b) pembearan 50 μm

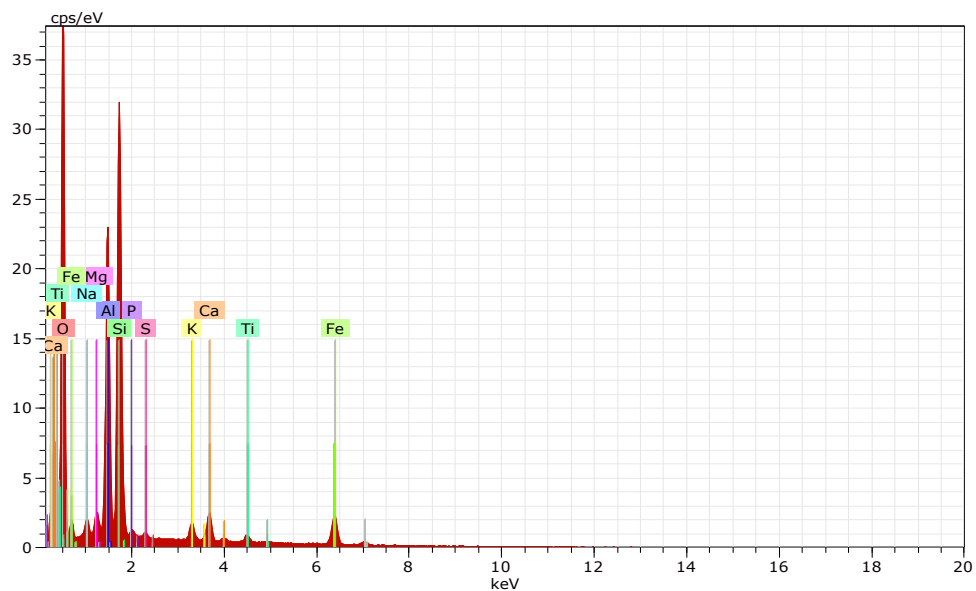


Gambar 35. Hasil foto SEM asbuton LGA. (a) pembesaran 10 μm , (b) pembearan 50 μm

Pada Gambar 34 foto SEM tanah asli terlihat struktur tanah berwarna terang dengan pori yang besar serta tidak padat menunjukkan bahwa

tanah tersebut berbutir halus dan dapat menyerap air lebih banyak sehingga bisa disimpulkan tanah tersebut lanau atau lempung yang dapat menampung air. Dan dari hasil kandungan mineral dengan perbandingan silikat dengan aluminat sekitar 2 : 1 maka dapat disimpulkan tanah uji tergolong lempung ekspansif.

Pada Gambar 35 foto SEM asbuton LGA terlihat struktur tanah lebih gelap dari tanah asli dan adanya sedikit pori. Hal ini menunjukkan bahwa butiran LGA lebih besar dan pori terisi aspal sehingga jika dicampur dengan tanah yang lebih halus akan meningkatkan daya dukung tanah.



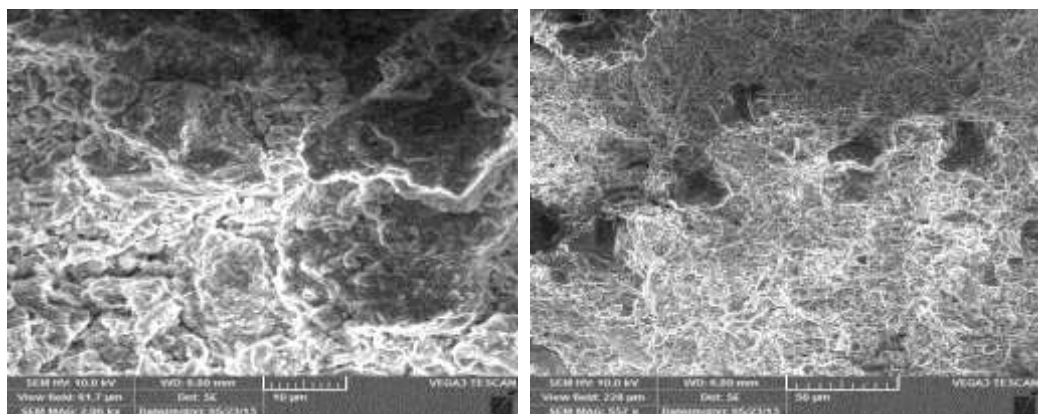
Gambar 36. Grafik kandungan 70% tanah asli + 30% LGA

Dari hasil pengujian komposisi kimia 70% tanah asli + 30% LGA menunjukkan bahwa unsur-unsur yang terbentuk adalah silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), Sodium (Na_2O), Magnesium (MgO), Potassium (K_2O),

Calcium (CaO), Titanium (TiO₂), Sulfur (SO₃), Posphor (P₂O₅) dan Iron (FeO).

Tabel 30. Kandungan kimia campuran tanah asli dan LGA

Mineral	Komposisi (%)
Silicon (SiO ₂)	44,99
Aluminium (Al ₂ O ₃)	30,51
Sodium (Na ₂ O)	2,58
Magnesium (MgO)	2,75
Potassium (K ₂ O)	1,75
Calcium (CaO)	3,79
Titanium (TiO ₂)	1,81
Phosphorus (P ₂ O ₅)	1,63
Sulfur (SO ₃)	1,11
Iron (FeO)	9,10



Gambar 37. Hasil foto SEM tanah + 30% LGA. (a) pembesaran 10 µm,
(b) pembesaran 50 µm

Pengujian foto SEM tanah asli + LGA 30 % peram 7 hari pada Gambar 37 memperlihatkan bahwa partikel-partikel tanah yang mengalami penggumpalan dan terlihat lebih merata akibat LGA tertutup oleh lempung, namun tidak terlihat adanya gel CSH (calcium-silikat-hidrat) yang berfungsi mengikat partikel tanah sehingga pengaruh LGA tidak seperti semen atau kapur yang bersifat *pozzolan*

6. Pembahasan hasil

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi pengembangan yang tinggi, mengandung mineral *montmorillonite* dengan perbandingan silikat dan aluminat sekitar 2:1.

Dari hasil pengujian sifat fisik terlihat bahwa tanah asli mempunyai karakteristik lempung ekspansif dengan nilai PI 58,35% diatas dan SL sebesar 11,66%. Hasil pengujian gradasi butiran terlihat bahwa sampel tanah mempunyai ukuran relatif sama dengan komposisi kerikil 0,01%, pasir 16,99%, lanau 47,29% dan lempung 35,71%.

Hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) LGA memperlihatkan bahwa kandungan mineral terbesarnya ialah calcium (CaO) sebesar 52,22% yang diharapkan dapat bersifat *pozzoland* sehingga dapat meningkatkan daya dukung tanah.

Penambahan kadar LGA yang berupa butiran-butiran kasar dengan ukuran yang lebih besar pada partikel-partikel tanah akan mengakibatkan terjadinya penggumpalan (*flocculation*) yang akan meningkatkan daya ikat antar butiran, dan akhirnya akan meningkatkan kemampuan saling

mengunci (*interlocking*) antar butiran. Daya ikat antar butiran menyebabkan butiran tanah lempung menjadi lebih besar, dengan adanya perbaikan gradasi butir tanah lempung ini maka nilai CBR mengalami kenaikan.

Sampel tanah dicampur dengan LGA dengan penambahan 5%, 10%, 20% dan 30% dari berat kering tanah asli selanjutnya dilakukan uji daya dukung yaitu CBR *unsoaked*, CBR *soaked*, *swelling* dan kuat tekan bebas. Peningkatan tertinggi kekuatan tanah lempung yang distabilisasi dengan LGA terdapat pada kombinasi 70% tanah lempung + 30% LGA yaitu dengan peningkatan nilai CBR *unsoaked* sebesar 84,3% dari CBR *unsoaked* tanah asli dan CBR *soaked* sebesar 300% dari CBR *soaked* tanah asli. sedangkan nilai UCS untuk kombinasi campuran tersebut naik sebesar 214% dari nilai UCS tanah asli. Hasil ini menunjukkan penambahan LGA 30% dengan nilai CBR *soaked* 7,09% dapat dijadikan solusi perbaikan tanah lempung sebagai *subgrade*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian *Scanning electron Microscope* (SEM) tanah asli menunjukkan bahwa tanah uji yang digunakan adalah lempung ekspansif dengan perbandingan mineral silikat dan aluminat sekitar 2:1, sedangkan LGA didominasi oleh kapur aktif (CaO). Hasil SEM campuran tanah dan LGA memperlihatkan bahwa kandungan kapur aktif dari LGA tidak dapat mengikat tanah lempung seperti kapur dan semen karena adanya kandungan aspal.
2. Dari hasil pengujian daya dukung tanah memperlihatkan bahwa penambahan LGA 30% meningkatkan daya dukung tanah lempung baik CBR *unsoaked*, CBR *soaked* maupun kuat tekan bebas, sehingga dapat memenuhi syarat untuk dijadikan *subgrade*.

B. Saran

1. Penggunaan material tanah yang diperoleh dari daerah lain sebaiknya terlebih dahulu dilakukan pengujian unsur kimia, mengingat terdapat kemungkinan adanya perbedaan unsur kimia.
2. Untuk pengujian stabilitas tanah, sebaiknya dilakukan uji permeabilitas bahan stabilisasi.
3. Dalam pengujian Asbuton masih terdapat beberapa jenis yang belum diteliti, sehingga perlu adanya penelitian untuk jenis lain tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, A.A., dan Yaurentius, A. 2001. *Studi Penggunaan Asbuton Untuk Bahan Stabilisasi Tanah Ekspansif*, Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
- ASTM. 1992. *ASTM Stabilisation With Admixture. American Society For Testing And Materials, Second Edition.*
- Balitbang Pekerjaan Umum. *Asbuton (Aspal Buton)*, (Online), <http://balitbang.pu.go.id/w/asbuton-aspal-buton.balitbang.pu.go.id>, diakses 06 Oktober 2012).
- Bowles, J.E. 1988. *Foundation Analysis and design, 4th Edition*, McGraw-Hill Book Co.: New York.
- Bowles, J.E. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah*. Terjemahan oleh Johan Kelana Putra. 1993. Jakarta: Erlangga.
- Cernica, J. N. 1995. *Foundation Design*, John Wiley & Sons. New York.
- Chen, F.H. 1988. *Foundation on Expansive Soils*. American Elsevier Science Publ.: New York.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid I. Erlangga: Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1976. *Manual Pemeriksaan Badan Jalan*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2005. *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2006. *Pemanfaatan Asbuton*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Hardiyatmo, C. H. 2010. *Mekanika Tanah 1*, Gadjah Mada University Press: Jakarta.
- Holtz, R.D., and Kovacs, W.D. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanic Series.

- Jaksa, M.B. 2006. *An Introduction to Ekspansive Soils and Residential Foundation Design*. Lecture Series No. 8: Adelaide.
- Krebs, R.D., and Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*. McGrawhill Book Company: New York.
- Kusnianti, Neni. 2008, *Pemanfaatan Mineral Asbuton Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan
- Mariandi, Henki. 2008. *Stabilisasi Tanah Pasir Menggunakan Aspal Emulsi Terhadap Kuat Gesernya*. Skripsi diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Seta, Wijaya. 2006. *Perilaku Tanah Ekspansif Yang Dicampur Pasir Untuk Subgrade*. Tesis diterbitkan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Skempton. 1953. The Colloidal Activity of Clays. *Proceeding 3 th International Conference of Soil mecanic and Fondation Engineering*. 1 : 57-61.
- Soedarmo, G. D., Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Kanisius: Yogyakarta.
- Sukirman, Silvia. 1992. *Pekerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA: Bandung.
- Terzaghi, K and R.B. Peck. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I*. Terjemahan Bagus, W. dan K. Benny. 1987. Erlangga: Jakarta.
- Warsiti. 2009. *Meningkatkan CBR Dan Memperkecil Swelling Tanah Sub Grade dengan Metode Stabilisasi Tanah Dan Kapur*. Tesis diterbitkan. Semarang: Fakultas Teknik Politeknik Negeri.
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Percetakan Umum: Jakarta.
- Widodo, Noerjahjo. 1998. Stabilisasi Tanah yang Mudah Mengembang dengan Menggunakan Asbuton Mikro dan Bahan Peremaja. *Perpustakaan Digital*, (Online), (<http://digital.lib.itb.ac.id/gdl.php>, diakses 26 September 2012).
- Zultan, Achmad. 2011. *Stabilisasi Tanah Dasar Menggunakan Limbah Beton*. Tesis diterbitkan. Makassar : Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

