

**STUDI PENGARUH STABILISASI ABU SEKAM PADI
TERHADAP DENSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH
LEMPUNG**

TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

**Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Derajat Sarjana (S-1)**



Disusun Oleh

SUPIRMAN

45 10 041 056

**JURUSAN SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS "45" MAKASSAR
2015**





UNIVERSITAS "45"

Jl. UripSumoharjo Km. 4 TLP. (0411)452901 - 452789

Fax (0411) 424568 Website : www.univ45.ac.id

MAKASSAR-INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK

LEMBAR PENGAJUAN UJIAN AKHIR

Tugas Akhir :

" STUDI PENGARUH STABILISASI ABU SEKAM PADI TERHADAP DENSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH LEMPUNG "

Disusun dan diajukan oleh :

Nama Mahasiswa / Stambuk : SUPIRMAN / 45 10 041 056

Nama Mahasiswa / Stambuk : SUBRATA / 45 10 041 071



Sebagai salah satu syarat, untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil/Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas "45" Makassar.

Telah Disetujui Komisi Pembimbing

Pembimbing I : IR.H.DARWIS PANGURISENG,MS.c

Pembimbing II : IR. AMIRUDDIN RANA. MT

Pembimbing III : IR.FAUZY LEBANG, MT.

(.....)
(.....)
(.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Sipil

(Dr. Ir. H. Agus Salim, Msi)

NIDN : 09-1708-7102

(Ir. Tamrin malewangeng, MT)

NIDN : 09-0711-6602

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kesehatan dan kelancaran dalam berfikir sehingga penulisan tugas akhir dengan judul **“STUDI PENGARUH STABILISASI ABU SEKAM PADI TERHADAP DENSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH LEMPUNG ”**. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Universitas 45 Makassar.

Tugas Akhir ini merupakan suatu syarat akademik yang harus ditempuh guna kelulusan studi Sarjana Starata Satu di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas “45” Makassar.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan – bantuan pihak lain dalam memberi bantuan dan bimbingan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Allah SWT tempat meminta dan memohon pertolongan.
2. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan moral dan materi yang tidak terhitung jumlahnya, sehingga Tugas Akhir ini dapat rampung seperti saat ini.

3. Bapak Ir.H.Darwis Panguriseng,MS.c sebagai pembimbing I yang sudah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan kami sehingga terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir.Amiruddin Rana,MT sebagai pembimbing II yang sudah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan kami sehingga terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir.Fauzy Lebang,MT sebagai pembimbing III yang sudah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan kami sehingga terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dekan , Para Wakil Dekan dan Staf Fakultas Teknik Universitas "45" Makassar.
7. Bapak Ir.Tamrin Mallawangeng,MT sebagai Ketua Jurusan Sipil Universitas "45" Makassar.
8. Teman – teman angkatan 2010 Teknik Sipil Universitas 45 Makassar yang telah menemani dan berbagi dalam suka dan duka selama ini.
9. Bapak Pimpinan, Koordinator Laboratorium Mekanika Tanah Universitas "45" Makassar beserta asisten Laboratorium.

Menyadari akan segala kekurangan dan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa, maka penulis dengan tangan terbuka menerima segala saran dan kritik yang guna penyempurnaan tugas akhir ini.

Akhirnya, semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun rekan – rekan mahasiswa lainnya di masa yang akan datang dan semoga segala bantuan dari semua pihak bernilai ibadah disisi Allah SWT, Amin.

Makassar, Februari 2015



ABSTRAK

SUPIRMAN. SUBRATA, Studi Pengaruh Stabilisasi Abu Sekam Padi Terhadap Densitas dan Permeabilitas Tanah Lempung (dibimbing oleh Darwis Panguriseng, Amiruddin Rana, Fauzy Lebang).

Kerusakan jalan yang diakibatkan oleh perilaku tanah lempung, sering kita jumpai. Kekuatan dan keawetan konstruksi pekerjaan jalan sangat ditentukan oleh daya dukung tanah dasar yang ada.

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik tanah lempung setelah distabilisasi dengan abu sekam padi, untuk menentukan komposisi bahan yang sesuai untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas "45" Makassar meliputi penelitian sifat – sifat fisik dan mekanis tanah lempung, yang distabilisasi dengan variasi abu sekam padi, yaitu : 2,5 %, 7,5% dan 12,5%.

Hasil penelitian untuk tanah asli menunjukkan bahwa sampel tanah masuk klasifikasi tanah lempung anorganik dengan tingkat plastisitas tinggi (CH) dengan nilai Indeks Plastisitas 32.57%. Dari pengujian kompaksi didapat berat volume kering (γ_d) sebesar 1.385 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 23,46%. Untuk uji permeabilitas diperoleh hasil Koefisien permeabilitas (k) = 0.0003(cm/dtk).

Untuk hasil penelitian tanah lempung yang telah distabilisasi dengan variasi abu sekam padi didapat nilai densitas dari 2,5% = 1,351 gr/cm³, 7,5% = 1,317 gr/cm³, dan 12,5% = 1,301 gr/cm³, begitupun pada pengujian permeabilitas 2,5% = 0.0003(cm/dtk), 7,5% = 0,0002(cm/dtk), dan 12,5% = 0,0001(cm/dtk).

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGAJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	I- 1
1.2. Maksud dan Tujuan penelitian.....	I- 4
1.3. Ruang lingkup dan Batasan masalah.....	I- 5
1.3.1. Ruang lingkup.....	I- 5
1.3.2. Batasan maslah	I- 5
1.5. Gambaran umum penelitian.....	I- 5
1.6. Sistematika Penulisan	I- 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik & Sifat-sifat tanah lempung	II-1
2.1.1. Klasifikasi Tanah	II-4
2.1.2. Mineral Tanah Lempung	II-7
2.1.3. Sifat – sifat tanah lempung	II-14
2.1.4. Pengaruh air pada tanah lempung	II-15
2.1.5. Kembang – susut tanah lempung	II-20
2.2. Karakteristik Abu Sekam Padi	II-31
2.2.1. Sifat-sifat fisik	II-32
2.2.2. Sifat-sifat Kimia	II-33
2.2.3. Perilaku Abu Sekam Padi terhadap Air	II-33
2.3. Densitas	II-38
2.3.1. Umum	II-38
2.3.2. Perencanaan Pemadatan	II-40
2.3.3. Faktor-faktor yang Pengaruhi hasil Pemadatan	II-44
2.3.4. Sifat-sifat Tanah Lempung Dipadatkan	II-46
2.3.5. Uji Kepadatan Tanah	II-48
2.4. Permeabilitas	II-50
2.4.1. Garis Aliran	II-51
2.4.2. Aliran Air Dalam Tanah	II-51
2.4.3. Uji Permeabilitas di Laboratorium	II-56
2.5. Penelitian Sejenis	II-58
2.5.1. Penelitian oleh Muntohar, A. S. Dan B. Hantoro (2001)	II-58

2.5.2. Penelitian oleh Herina, S. F. (2000)	II-59
2.5.3. Penelitian oleh Darwis (1998)	II-60

BAB. III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flowchart Penelitian	III - 1
3.2. Tahapan Penelitian	III - 2
3.2.1. Persiapan	III - 2
3.3. Formulasi campuran	III - 3
3.4. Pembuatan Benda Uji	III - 4
3.5 Pengujian Tanah	III - 4
3.5.1. Pengujian specific Gravity	III - 4
3.5.2. Pengujian Butir (saringan + hidrometer)	III - 8
3.5.3. Pengujian Batas-batas Atterberg	III-16
3.5.4. Pengujian Kadar Air	III-27
3.5.5. Pengujian Pemasatan	III-30
3.5.6. Pengujian Permeabilitas	III-31
3.6. Pengolahan Data	III-31
3.7. Teknik pencampuran tanah lempung lunak dengan abu sekam padi	III-32
3.7.1. Prosedur pencampuran tanah lempung dengan abu sekam padi	III-33
3.7.2. Prosedur pemeraman pengujian	III-35

BAB. IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan Specific Grafik dengan Variasi Abu Sekam Padi..... IV-1

4.2. Hubungan Batas-batas Atterberg dengan variasi Abu
Sekam Padi..... IV-2

4.3. Hubungan Kepadatan dan Kadar air optimum terhadap
Penambahan Abu Sekam Padi..... IV-9

4.4. Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi Pada
Permeabilitas Tanah..... IV-13

4.5. Campuran Tanah Lempung dan Abu Sekam Padi
Yang Terbaik..... IV-15

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan V-1

5.2. Saran V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur mineral tanah.....	II-3
Gambar 2.2 Ilustrasi bentuk permukaan lempung.....	II-7
Gambar 2.3 Struktur mineral tanah lempung.....	II-8
Gambar 2.4 Struktur mineral lempung kaolinite.....	II-8
Gambar 2.5 Struktur mineral lempung illite.....	II-10
Gambar 2.6 Struktur partikel montmorillonite.....	II-12
Gambar 2.7 Kation dan anion pada partikel lempung.....	II-16
Gambar 2.8 Sifat dipolar air.....	II-17
Gambar 2.9 Air pada partikel lempung.....	II-18
Gambar 2.10. Hubungan potensial (Elektromagnetis, kimia dsb) dengan jarak permukaan lempung.....	II-20
Gambar 2.11 Susut aksial pada lempung.....	II-21
Gambar 2.12 Pengaruh kadar air terhadap tekanan pengembangan lempung berpasir.....	II-23
Gambar 2.13 Klasifikasi sifat tanah.....	II-24
Gambar 2.14 Diagram klasifikasi potensial Pengembangan.....	II-27
Gambar 2.15 Prinsip – prinsip pemadatan.....	II-40
Gambar 2.16 Alat uji standar proctor.....	II-41
Gambar 2.17 Grafik volume kering dan kadar air.....	II-42
Gambar 2.18. Hubungan berat volume kering pada kadar udara tertentu dengan kadar air dari hasil uji standar	

proctor dan proctor modifikasi 1997.....	II-43
Gambar 2.19 Kurva hasil uji pemadatan pada berbagai jenis tanah, ASTM D-698.....	II-45
Gambar 2.20 Kurva hasil pemadatan pada berbagai jenis tanah, ASTM D-698.....	II-46
Gambar 2.21 Pengaruh pemadatan pada susunan tanah.....	II-48
Gambar 2.22 Nuclear dencity test.....	II-49
Gambar 2.23 Metode kerucut pasir.....	II-50
Gambar 2.24 Metode rubber ballon.....	II-50
Gambar 2.25 Aliran air tanah.....	II-51
Gambar 2.26 Aliran rembesan dalam tanah.....	II-54
Gambar 2.27 Uji permeabilitas dengan alat konsolidasi.....	II-56
Gambar 3.1. Flowchart.....	III-1
Gambar : 4.1. Grafik hubungan Specific Grafity dengan Abu Sekam Padi.....	IV-2
Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara nilai Batas Cair(LL) dengan variasi campuran Abu Sekam Padi.....	IV-4
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Batas Plastis(PL) dengan variasi Abu Sekam Padi.....	IV-5.
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Batas Susut(SL) dengan variasi Abu Sekam Padi.....	IV-6
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Indeks Plastis(PI) dengan variasi	

Abu Sekam padi..... IV-7.

Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kepadatan dan Variasi Abu

Sekam Padi..... IV-10

Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kadar Air dan Variasi

Abu Sekam Padi..... IV-12

Gambar 4.8. Grafik Hubungan koefisien permeabilitas dan

Variasi Abu Sekam Padi..... IV-14



DAFTAR TABEL

Tabel.2.1 Berat jenis mineral lempung.....	II-4
Tabel.2.2 Sistem klasifikasi tanah AASTHO.....	II-5
Tabel.2.3 Sistem klasifikasi tanah unified.....	II-6
Tabel.2.4 Potensi pengembangan.....	II-24
Tabel.2.5 Potensi pengembangan.....	II-25
Tabel.2.6 Aktivitas mineral lempung.....	II-28
Tabel.2.7 Klasifikasi derajat ekspansi.....	II-29
Tabel.2.8 Sifat kimiawi abu sekam.....	II-33
Tabel.2.9 Hasil penelitian sejenis.....	II-62
Tabel.3.1 Pembagian jenis tanah berdasarkan berat jenis.....	III-7
Tabel.3.2 Batas ukuran butiran menurut ASTM.....	III-11
Tabel 3.3. Perhitungan pengujian hidrometer.....	III-15
Tabel 3.4. Tingkat ketelitian.....	III-29
Tabel 3.5. Maximum size of soil particles dan Recommended minimum sample weight	III-30
Tabel 3.6. Variasi campuran Abu Sekam Pade dengan Tanah Lempung.....	III-32
Tabel 4.1. Hasil uji Specific gravity.....	IV-1
Tabel 4.2. Hasil uji batas-batas Atterberg dan indeks Plastis.....	IV-3.
Tabel 4.3. Hubungan Indeks cair dengan variasi abu sekam Padi.....	IV-8

Tabel 4.4. Nilai Kepadatan (γ_d)..... IV-9

Tabel 4.5. Nilai Kadar air(%)..... IV-11

Tabel 4.6. Nilai koefisien permeabilitas tanah dalam
berbagai variasi Abu Sekam Padi..... IV-13



DAFTAR NOTASI

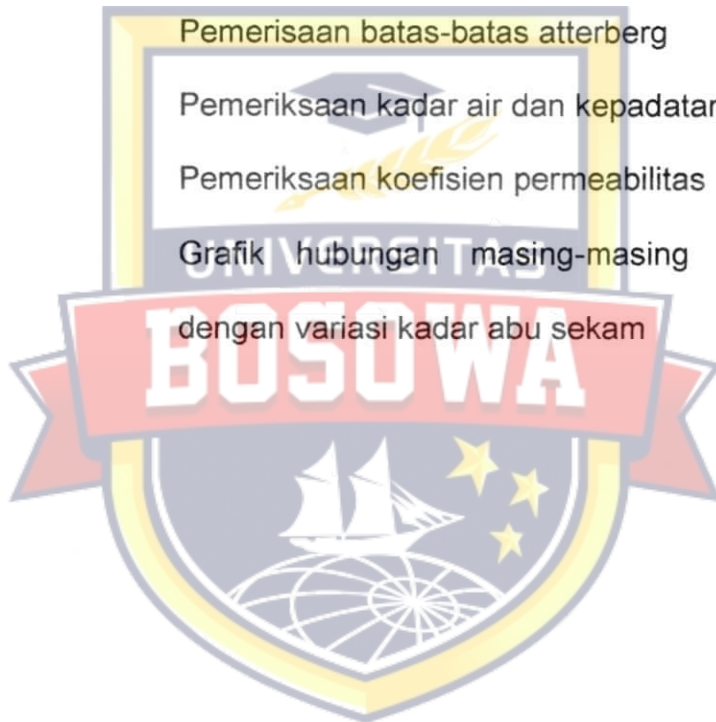
USCS	Unified Soil Classification System
ASSHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Material
Swelling	Pengembangan
IP	Indeks Plastis
LL	Batas Cair
PL	Batas Plastis
Ws	Berat butiran padat
Ww	Berat air
Vs	Volume butiran padat
Vw	Volume air
Va	Volume udara
Gs	Berat Jenis
ρ_s	Berat isi butir
ρ_w	Berat isi air
ρ_d	Berat volume kering
ρ_b	Berat volume basah
w	Kadar air
w_{opt}	Kadar air optimum

Subgrade	Tanah Dasar
Soaked	Rendaman
Clay	Lempung
Silt	Lanau
T	Tanah
TA	Tanah Asli
k	Koefisien permeabilitas
h	Tinggi energi total
p/γ_w	Tinggi energi tekanan
$V^2/2g$	Tinggi energi kecepatan
V	Kecepatan air
g	Percepatan gravitasi
Z	Tinggi energi elevasi



Daftar Lampiran

Lampiran A	Pemeriksaan kadar air
Lampiran B	Pemeriksaan berat jenis
Lampiran C	Pemeriksaan anilasa saringan
Lampiran D	Pemeriksaan batas hidrometer
Lampiran E	Pemeriksaan batas-batas atterberg
Lampiran F	Pemeriksaan kadar air dan kepadatan
Lampiran G	Pemeriksaan koefisien permeabilitas
Lampiran H	Grafik hubungan masing-masing pengujian dengan variasi kadar abu sekam



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Berbagai perkembangan yang terjadi dalam bidang rekayasa bangunan akhir-akhir ini telah banyak memacu dan mendorong para ahli teknik sipil untuk melakukan penelitian diberbagai bidang, seperti bidang kontruksi, bidang pengembangan sumber daya air, bidang transportasi, bidang geoteknik, dan berbagai bidang dalam desain ilmu teknik sipil. Kemajuan dalam sektor ekonomi umumnya ditunjang oleh perkembangan pembangunan seperti gedung-gedung dan sarana transportasi. Jalan raya merupakan salah satu prasarana transportasi yang menghubungkan daerah satu dengan daerah yang lain. Kondisi jalan yang kurang baik akan mempengaruhi kelancaran arus lalu lintas serta kenyamanan bagi pengguna jalan tersebut. Salah satu faktor yang mempengaruhi kerusakan jalan adalah karena kondisi lapisan tanah dasar memiliki daya dukung tanah yang tidak memadai, seperti tanah rawa, gambut dan lainnya. Untuk membuat agar tanah dasar tersebut dapat diperbaiki sehingga dapat memenuhi syarat untuk mendukung struktur bangunan yang akan dibangun di atasnya di perlukan suatu rekayasa teknik. Kerusakan jalan yang diakibatkan oleh perilaku tanah lempung sering dijumpai.

Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila dapat digunakan sangat ekonomis. Bendungan urugan, tanggul sungai, dan timbunan untuk jalan raya serta

jalan kereta api, kesemuanya merupakan pemakaian tanah yang ekonomis sebagai bahan konstruksi; Walaupun demikian, sama halnya seperti bahan konstruksi lainnya, tanah harus dipakai setelah melalui proses pengendalian mutu. Apabila tanah ditimbun secara sembarangan, hasilnya akan merupakan timbunan dengan berat isi yang rendah dan mengakibatkan stabilitas yang rendah dan kepadatan tanah yang kurang sehingga berakibat pada daya dukung tanah yang rendah.

Dalam suatu proyek konstruksi seringkali ditemukan tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah. Dalam hal ini seorang disainer biasanya mempunyai 3 (tiga) alternatif penyelesaian yakni:

1. Menerima tanah apa adanya dan mendesain struktur sesuai dengan daya dukung yang rendah,
2. Mengganti tanah yang dengan mendatangkan material lain yang mempunyai karakteristik yang lebih baik,
3. Memodifikasi yang ada untuk memperoleh karakteristik yang lebih baik (meningkatkan daya dukung tanah) yang lazim disebut stabilisasi tanah.

Kekuatan dan keawetan konstruksi pekerjaan jalan sangat ditentukan oleh daya dukung tanah dasar yang ada . Perubahan bentuk tanah dasar akibat pembebanan, mengembang dan menyusutnya tanah dasar akibat perubahan kadar air sehingga volume tanah dasar berubah akan membawa dampak pada lapisan perkerasan yang ada di atasnya.

Untuk mengatasi hal ini diperlukan alternatif penanganan yang tersedia antara lain dengan menggunakan teknologi stabilisasi tanah. Sehingga untuk daerah-daerah yang kekurangan agregat dapat mengganti pondasi agregat dengan tanah yang ditingkatkan daya dukungnya atau tanah yang distabilisasi dan bisa juga untuk meningkatkan ketahanan erosi pada permukaan jalan tanah.

Keberadaan abu sekam padi yang melimpah di Indonesia masih tidak dimanfaatkan dengan baik. Diantara sekian banyak kegunaan sekam padi, sebagian besarnya dieksploitasi untuk keperluan-keperluan tradisional seperti perapian, abugosok, pembakaran batu-bata, campuran batu-bata dan sebagainya. Dibandingkan dengan potensinya, jelas pemanfaatan abu sekam ini tampak menonton dan juga bernilai guna rendah.

Beberapa penelitian terakhir ini dalam bidang jalan menunjukkan bahwa sekam padi berdaya guna sebagai campuran dalam stabilisasi tanah, khususnya tanah lempung. Sekam yang dalam bentuknya yang lain yaitu abu sekam, dapat mengisi campuran suatu struktur jalan termasuk struktur terbawah yaitu sub base. Disamping kemampuan menyusup, abu sekam juga memiliki sifat sementasi yang berfungsi meningkatkan kekesatan butir partikel.

Abu sekam padi merupakan pozzolan yang sangat reaktif. Dengan sendirinya abu sekam padi akan bereaksi secara kimia dengan tanah yang lembab membentuk tanah yang tersementasi dan akan meningkatkan daya dukung tanah. Penggunaan abu sekam padi sebagai

stabilisator dalam upaya peningkatan daya dukung tanah merupakan bidang penelitian yang aktif.

Oleh karena itu tanah dasar perlu dipersiapkan secara baik antara lain dengan perbaikan tanah. Stabilisasi tanah adalah alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Pada prinsipnya stabilisasi tanah merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Dengan kemajuan teknologi saat ini sudah banyak dilakukan stabilisasi tanah dengan berbagai cara.

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Stabilisasi Abu Sekam Terhadap Densitas Dan Permeabilitas Tanah Lempung ". Hasil penelitian diharapkan penggunaan abu sekam dapat menstabilisasi tanah lempung dan sebagai alternatif pemecahan masalah tanah lempung yang efisien dan ekonomis.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah mengevaluasi karakteristik, kepadatan dan permeabilitas yang terjadi pada tanah lempung setelah distabilisasi dengan Abu Sekam Padi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengevaluasi karakteristik tanah lempung setelah distabilisasi dengan abu sekam padi.
2. Untuk mengetahui perubahan sifat-sifat kepadatan tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi .

3. Untuk mengetahui perubahan sifat-sifat permeabilitas tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

1.3.1. Ruang Lingkup

1. Melakukan penelitian terhadap karakteristik abu sekam padi.
2. Membuat variasi proporsi abu sekam padi terhadap tanah lempung.
3. Mengadakan pengujian densitas.
4. Mengadakan pengujian permeabilitas
5. Melakukan analisis terhadap densitas dan permeabilitas

1.3.2. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh tanah lempung yang diperoleh di daerah Kabupaten Jeneponto tepatnya km.57 dari kota Makassar dan abu sekam padi diperoleh di daerah Kabupaten Maros, yang ditinjau. dari variasi persentase pencampuran abu sekam padi terhadap densitas dan permeabilitas tanah dapat mempengaruhi stabilitas tanah lempung .

1.4 Gambaran Umum Penelitian

- a. Penulisan ini merupakan kajian experimental yang dilakukan melalui serangkaian pengujian di laboratorium mekanika tanah Universitas 45 Makassar.

- b. Penelitian ini bertujuan untuk Meningkatkan nilai guna sekam padi yang selama ini masih tergolong kurang optimal pemanfaatannya. Penggunaan sekam yang merupakan sisa penggilingan padi selama ini masih sangat terbatas padahal ketersediaan abu sekam sangat melimpah di Indonesia. Uji coba penggunaan abu sekam padi pada stabilisasi tanah lempung untuk keperluan konstruksi jalan, diharapkan dapat meningkatkan nilai guna dan nilai jual abu sekam, dan sangat berarti pada peningkatan kesejahteraan petani.
- c. Penelitian dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas 45 Makassar selama 3 bulan (bulan April sampai Juni).

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan cara pembahasan dalam penulisan ini, maka sistematika penulisan dibagi atas lima bab, dimana setiap bab akan digambarkan dalam pokok bahasan yang tertuang dalam tulisan ini. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I: PENDAHULUAN, bab ini merupakan pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, rumusan masalah dan batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA, bab ini membahas tentang densitas dan permeabilitas tanah lempung yang dicampurkan dengan abu sekam pada

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN, bab ini membahas tentang flowchart penelitian, lokasi dan waktu penelitian, jenis dan metode pengujian laboratorium, pengumpulan dan analisis data.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini membahas tentang perilaku densitas dan permeabilitas tanah lempung terhadap penambahan material abu sekam padi.

BAB V: KESIMPULAN, merupakan bab penutup yang memberikan beberapa kesimpulan dan saran dari penulis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Tanah Lempung

Proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen dan karbondioksida (*Hardiyatmo, 2012, hal. 1*). Lempung adalah istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus yang sifatnya yaitu memiliki sifat kohesi, plastisitas tinggi, tidak memperlihatkan sifat dilatasi, umumnya berwarna coklat muda dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Sifat kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

Suatu tanah yang mengandung 30% pasir, 40% butiran-butiran ukuran lanau dan 30% butiran-butiran ukuran lempung, pada kemungkinannya akan bersifat sebagai lempung dan diberi istilah lempung. Mineral lempung terbentuk dari pelapukan akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran kaloid dengan diameter butir lebih kecil dari 0,002 mm (*Hardiyatmo, 2012, hal. 24*).

Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus karena itu tanah lempung mempunyai sifat sangat

dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Secara umum mineral lempung terdiri atas kelompok-kelompok *montmorillonite*, *illite* dan *kaolinite*.

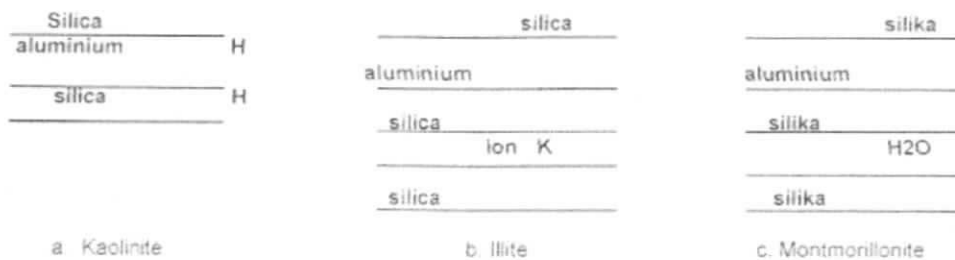
Kemungkinan tanah mengembang sangat tergantung pada jenis, jumlah kandungan mineralnya, kemudahan bertukarnya ion-ionnya dan kandungan elektrolit serta tatanan struktur lapisan mineral tanahnya.

Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air, ion pemisahannya berupa ion H₂O, yang sangat mudah lepas, mineral ini dapat dikatakan sangat tidak stabil. Pada kondisi tergenang, air dengan mudah masuk kedalam sela antar lapisan ini sehingga mineral mengembang pada waktu mengering, air diantara lapisan juga mengering sehingga mineral menyusut sehingga dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

Illite adalah lempung dengan ikatan-ikatan dengan ion kalium (K⁺) lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal *kaolinite* dan mempunyai sifat dapat mengembang, tapi jauh lebih kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal *montmorillonite*. Aktifitas *illite* lebih tinggi daripada *Kaolinite*.

Struktur satuan *Kaolinite* dapat tersusun menjadi 70 – 100 lembaran atau lebih dengan ikatan hidrogen dan gaya Van Der Waals pada permukaan kontakannya yang menghasilkan kekuatan dan kestabilan yang tinggi terhadap pengembangan (swelling). *Kaolinite* membentuk tanah yang stabil karena strukturnya yang terikat teguh mampu menahan molekul-molekul air sehingga tidak masuk kedalamnya.

Letak posisi lapisan mineral tanah lempung dapat digambarkan dengan skema berikut :



Gambar 2.1. Struktur Mineral Tanah Lempung (*Ir. Silvia Herina, 2005, hal.3*)

Partikel lempung umumnya bermuatan negatif pada ujung-ujungnya dan akan berusaha menetralkan dirinya dengan menarik kation-kation yang berada disekelilingnya sehingga akan selalu terselimuti oleh molekul air yang merupakan partikel dipolar (kutub yang satu bermuatan positif {+} sementara kutub lainnya bermuatan negatif {-}). Mekanisme tertariknya molekul air oleh partikel lempung dibagi atas tiga cara (Lambe, 1960: dalam Hardiyatmo, 2012, hal.32) yaitu :

1. Kutub positif dan molekul air akan tertarik ke permukaan partikel lempung
2. Kation bebas di dalam air tertarik oleh partikel lempung, kation tersebut juga tertarik oleh molekul air pada kutub negatifnya.
3. Akibat pemakaian bersama dari ion hidrogen oleh air dan lempung.

Tabel II-1. Berat Jenis mineral Tanah Lempung

Jenis Mineral	Berat Jenis (GS)
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorilonite	2,65 – 2,8
Halloysite	2,0 – 2,55
Chlorite	2,6 – 2,9

(Braja.M.Das, 1998. Jilid 1, hal.16)

2.1.1 Klasifikasi tanah

Analisis ukuran butiran merupakan bagian yang penting dari sebagian besar klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya.

Pada saat sekarang, sistem klasifikasi untuk memperhitungkan distribusi ukuran butiran yang sering digunakan oleh pakar geoteknik adalah sistem klasifikasi AASHTO dan klasifikasi Unified.

Tabel II-2 Sistem Klasifikasi Tanah AASTHO

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No.20)							Bahan-bahan lanau- lempung (Lebih dari 35% lolos No. 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Analisis saringan: Persen lolos: No. 10 No. 40 No. 200	maks. 50 maks. 30 maks. 15	maks. 50 maks. 25	maks. 51 maks. 10	maks. 35	maks. 35	maks. 35	maks. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
Karakteristik fraksi yang lolos No. 40 Batas cair: Indeks Plastisitas		maks. 6	N.P.	maks. 40 maks. 10	maks. 41 maks. 10	maks. 40 maks. 11	maks. 41 min. 10	maks. 41 maks. 10	maks. 41 maks. 10	maks. 40 min. 11	min. 41 min. 11
Indeks Kelompok	0		0	0				maks. 8	maks. 12	maks. 16	maks. 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batu, kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik										sedang sampai buruk

Sumber : (Braja.M.Das, 1998. Jilid 1, hal.67)

Tabel II-3 Sistem Klasifikasi Tanah Unified

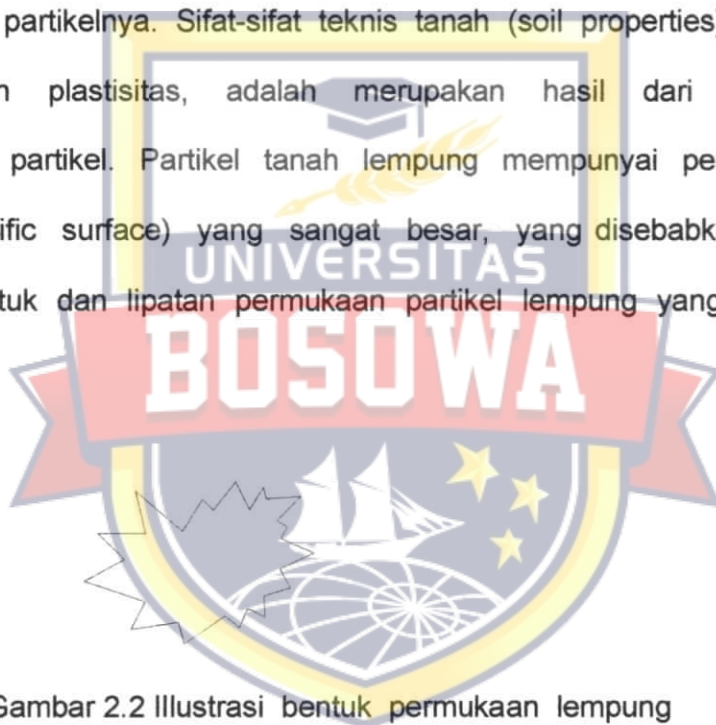
PEMBAGIAN UTAMA		SIMBOL	NAMA JENIS TANAH				
1	2	3	4				
TANAH BERBUTIR KASAR lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari saringan no. 200	KERIKIL lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih kasar dari saringan no. 4	GW	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus.				
		GP	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus.				
		GM	Kerikil lanauan, kerikil campur pasir dan lanau.				
		GC	Kerikil lempungan, kerikil campur pasir dan lempung.				
	PASIR lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan no. 4	Pasir bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	SW	Pasir, pasir kerikilan bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus.			
			SP	Pasir, pasir kerikilan bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus.			
		Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	SM	Pasir kelanauan, pasir campur lanau.			
			SC	Pasir kelempungan, pasir campur lempung.			
			TANAH BERBUTIR HALUS lebih dari setengah materialnya lebih halus dari saringan no. 200	LANAU DAN LEMPUNG	Batas cair kurang dari 50	ML	Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau kelempungan atau lanau kelempungan sedikit plastis.
						CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikilan, lempung pasiran, lempung lanauan, lempung humus.
OL	Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah.						
Batas cair lebih dari 50	MH	Lempung anorganik, tanah pasiran halus atau tanah lanauan mengandung mika atau diatome lanau elastis.					
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung ekspansif.					
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik.					
TANAH ORGANIK		Pt	Gambut dan tanah organik lainnya.				

Sumber : (Braja.M.Das,1998. Jilid 1, hal.71)

2.1.2. Mineral Tanah Lempung

Yang dimaksud dengan tanah lempung (clay) adalah jenis tanah yang partikelnya berdiameter lebih kecil dari 2 (dua) mikron (1mikron= 10^{-3} mm) menurut (*Darwis, 2001: Bukub ajar universitas 45 makassar,hal.14*), tanpa membedakan susunan mineral yang terdapat dalam tanah tersebut.

Perilaku pada tanah lempung sangat dipengaruhi oleh aktifitas permukaan partikelnya. Sifat-sifat teknis tanah (soil properties) seperti kohesi dan plastisitas, adalah merupakan hasil dari aktifitas permukaan partikel. Partikel tanah lempung mempunyai permukaan khas (specific surface) yang sangat besar, yang disebabkan oleh karena bentuk dan lipatan permukaan partikel lempung yang sangat bervariasi.



Gambar 2.2 Ilustrasi bentuk permukaan lempung
Sumber : (*Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassar,hal.14*)

Jika dilihat dari susunan mineral di dalam massa tanah lempung, maka secara garis besarnya jenis tanah lempung yang ada dipermukaan bumi dapat diklasifikasikan atas tiga kelompok besar, yakni :

1. Kaolinite
2. Illite
3. Montmorillonite

Susunan dasar dari struktur mineral tanah lempung yang dikenal ada dua macam, yakni :

- Susunan Octahedra

- Susunan Terthahedral

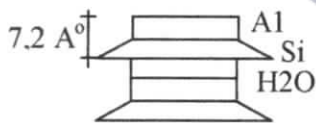


Gambar 2.3 Struktur Mineral Tanah Lempung .Sumber : (Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassar, hal.15)

a. Lempung Kaolinite :

Secara struktur mineral lempung kaolinite terbentuk dari susunan tetrahedral-oktahedral-H₂O. Yang mana ukuran susunan partikel dari ketiga unsur tersebut berukuran sekitar 7,2 Å⁰.

(Å⁰ : Amstrong → 1 Å⁰ = 10⁻⁶ mm)



Gambar 2.4. Struktur Mineral Lempung Kaolinite (Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassar,hal.15)

Dalam arah horizontal, ikatan antara unit tetrahedral dan oktahedral menerus, sehingga memungkinkan ikatan antara satu

sama lain lebih kuat. Sedangkan arah vertikal, yang merupakan ikatan antara tetrahedral dengan oktahedral kurang kuat. Dalam hal ini kuatnya ikatan tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis ion terlarut yang mengikat antara unit tetrahedral dengan unit oktahedral. Ikatan yang paling lemah dalam susunan kaolinite adalah ikatan yang berhubungan dengan H₂O.

Jarak antara unit tetrahedral-oktahedral diikat oleh ion-ion terlarut, seperti ion K⁺, Li⁺, Ca²⁺ dan lain-lain. Orde kekuatan ikatan yang dibangun oleh ion terlarut tersebut, mengikuti tingkat substitusi kation yang dirumuskan oleh Volta, (*Darwis, 2001: Buku ajar Universitas 45 Makassar, hal. 15*), sebagai berikut :



Komposisi kimia pada senyawa mineral lempung jenis kaolinite, secara umum dirumuskan sebagai berikut (*Darwis, 2001: Buku ajar universitas 45 makassar, hal. 15*):



Dengan memperhatikan komposisi kimia pada tanah lempung kaolinite, terlihat bahwa tingkat substitusi ion dalam strukturnya sangat sedikit. Hal ini menyebabkan ikatan mineral pada lempung kaolinite relatif stabil. Akan tetapi dapat saja terjadi substitusi, misalnya dari Al²⁺ digantikan dengan ion Fe³⁺. Dalam mineral kaolinite senyawa SiO₂ lebih dominan dari pada senyawa Al₂O₃, yang mana

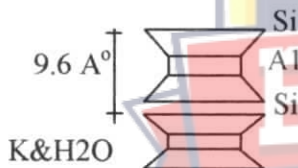


berdasarkan beberapa hasil penelitian ditemukan bahwa perbandingan antara kedua senyawa tersebut adalah kurang lebih 2 :1. Kelompok lempung kaolinite ini dapat lagi dibedakan atas beberapa jenis, seperti (Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassar,hal.16):

- Kaolinite
- Halloysite
- Serpentine
- Chrysotile
- Lizardite
- Antigorite

b. Lempung Illite

Dari aspek struktural mineral lempung Illite terbentuk dari susunan oktahedral-tetrahedral-oktahedral-H₂O. Yang mana ukuran susunan partikel dari ketiga unsur tersebut berukuran sekitar 9,6 Å⁰.



Gambar 2.5 Struktur Mineral Lempung Illite (Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassar, hal.16)

Sama hal dengan susunan partikel kaolinite, pada struktur illite ini juga terjadi ikatan arah horizontal antara sesama unit oktahedral, tetrahedral, dan oktahedral berbentuk menerus, sehingga memungkinkan ikatan antara satu sama lain lebih kuat. Sedangkan ikatan arah vertikal, yang merupakan ikatan tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis ion terlarut yang mengikat antara unit tetrahedral dengan unit oktahedral.

Ion kalium (K^+) yang mengikat antara unit-unit pada arah vertikal bersifat permanen (unchangeable). Secara teoritis ion kalsium semestinya dapat digantikan oleh ion-ion yang bervalensi lebih tinggi misalnya ion kalsium (Ca^{2+}), akan tetapi kenyataannya ion K^+ dalam mineral illite tidak dapat digantikan oleh ion Ca^{2+} . Hal ini disebabkan karena ukuran ion kalium tersebut sangat sesuai dengan jarak yang ada diantara unit-unit struktur mineral tersebut, sehingga ion K^+ seakan-akan terkancing diantara unit-unit partikel tersebut.

Komposisi kimia pada senyawa mineral lempung jenis Illite, secara umum dirumuskan sebagai berikut (Darwis, 2001: Buku ajar universitas 45 makassas, hal.17) :



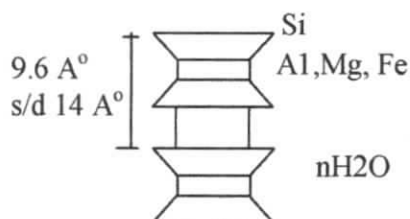
Kelompok lempung illite ini dapat lagi dibedakan atas beberapa jenis, seperti :

- Illite
- Hydromica
- Sericite

c. Lempung Montmorillonite

Sama halnya pada susunan partikel lempung illite, partikel lempung montmorillonite terbentuk dari susunan oktahedral-

tetrahedral-oktahedral- H_2O . Yang mana susunan partikel dari ketiga unsur tersebut berukuran sekitar $9,6 \text{ \AA}$.



Gambar 2.6. Susunan Partikel montmorillonite (Darwis,2001: Buku ajar universitas 45 makassas, hal.18).

Ikatan arah horizontal pada lempung montmorillonite antara sesama unit oktahedral, tetrahedral, dan oktahedral berbentuk menerus, sehingga memungkinkan ikatan antara satu sama lain lebih kuat. Sedangkan ikatan arah vertikal, yang merupakan ikatan antara oktahedral-tetrahedral-oktahedral kurang kuat. Dalam hal ini kekuatan ikatan tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis ion terlarut yang mengikat antara unit tetrahedral dengan unit oktahedral.

Ikatan antara unit partikel pada tanah lempung montmorillonite merupakan ikatan Van der Waals, yang terbentuk antara atom-atom hidrogen, sehingga ikatan yang dimiliki sangat lemah. Dengan lemahnya ikatan diantara unit partikel tersebut, menyebabkan mudahnya air masuk ke dalam kerangka susunan partikel. Dengan masuknya air ke dalam celah (gap) yang ada diantara partikel lempung (air kristal) dapat membuat volume massa tanah

mengempang (expansive) sampai mencapai volume dua kali lipat lebih dari volume kering.

Dari beberapa hasil penelitian diketahui bahwa volume air yang dapat diserap oleh partikel montmorillonite dapat mencapai $14A^0$ (7 lapis). Proses pengembangan massat tanah akibat bertambahnya volume air kristal disebut Swelling, dan kemampuan untuk mengembang disebut Swelling Potensial.

Karakteristik khusus dari lempung montmorillonite adalah sangat mudah menyerap air, sekaligus sangat mudah mengeluarkan air apabila kondisinya kering. Sifat ini sangat merugikan bila massa tanah montmorillonite digunakan sebagai lapisan tanah dasar, karena perubahan volume (volume change) yang besar yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan.

Komposisi kimia pada senyawa mineral lempung jenis montmorillonite, secara umum dirumuskan sebagai berikut (Darwis, 2001: buku ajar universitas 45 makassar, hal. 19):



↑
Swelling potensial

Kelompok lempung montmorillonite dapat dibedakan atas beberapa jenis, seperti:

- Montmorillonite
- Smectite
- Saponite
- Talcs
- Pyrophyllite
- Nontronite

2.1.3. Sifat-sifat Tanah Lempung

Tanah Lempung

Tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (*Grim, 1953: dalam Braja.M.Das. Jilid 1, 1998, hal. 9*). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron ($=2\mu$), atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($<1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya. ASTM-D-653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002mm sampai 0,005mm.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut (*Hardiyatmo, 1999: repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/32425/3/Chapter%2011.pdf*), adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif

5. Kadar kembang susut yang tinggi

6. Proses konsolidasi lambat

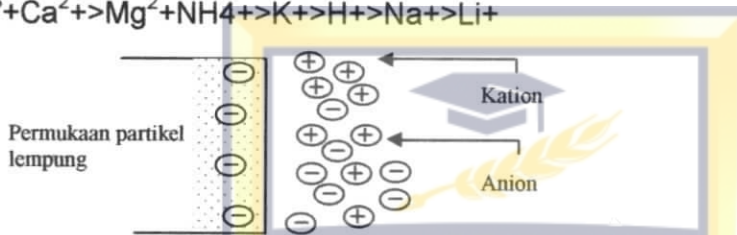
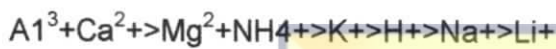
Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

2.1.4. Pengaruh Air Pada Tanah Lempung

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah non kohesif (granuler). Sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air. Tetapi, jika air berada pada lapisan pasir yang tidak padat, beban dinamis seperti gempa bumi dan getaran lainnya sangat mempengaruhi kuat gesernya. Sebaliknya, tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah. Distribusi ukuran butir tanah umumnya bukan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah butiran halus. Identifikasi tanah jenis ini dilakukan dengan mengadakan uji batas-batas Atterberg.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan negatif dan positif

seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempung. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel lempung menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada didalam air pori. Hal ini disebut pertukaran ion-ion. Kation-kation dapat disusun dalam urutan kekuatan daya tarik-menariknya, sebagai berikut:

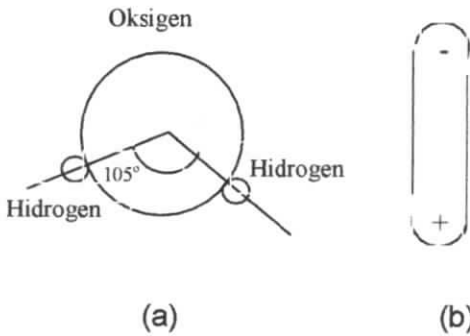


Gambar 2.7. Kation dan Anion pada partikel Lempung (Das, 1985: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 30).

Urutan tersebut memberikan arti bahwa ion Al^{3+} dapat mengganti Ca^{2+} , Ca^{2+} dapat mengganti Na^+ dan seterusnya. Proses ini disebut dengan pertukaran kation. Sebagai contoh:



Kapasitas pertukaran kation tanah lempung didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen per 100 gram lempung kering. Beberapa garam juga terdapat pada permukaan partikel lempung kering. Pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation-kation dan anion-anion mengapung di sekitar partikel.

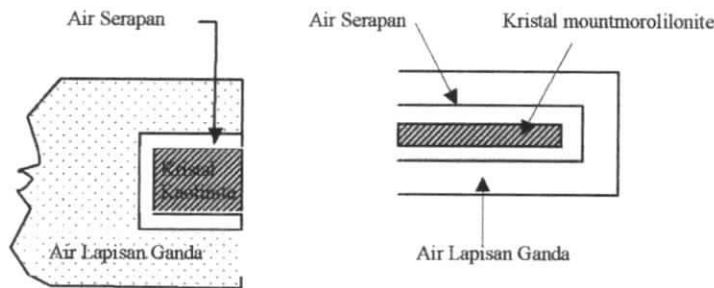


Gambar 2.8 Sifat dipolar air (*Das, 1985: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 31*).

Molekul air merupakan molekul yang dipolar, yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetri di sekitar atom-atom oksigen (Gambar 2.8a). Hal ini berarti bahwa satu molekul air merupakan batang berlawanan atau dipolar (dobel kutub) (Gambar 2.8b).

Terdapat 3 mekanisme yang menyebabkan molekul air dipolar dapat tertarik oleh permukaan partikel lempung secara elektrik (*Lambe, 1960: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 32*).

- (1) Tarikan antara permukaan bermuatan negatif dari partikel lempung dengan ujung positif dari dipolar.
- (2) Tarikan antara kaiton-kaiton dalam lapisan ganda dengan muatan negatif dari ujung dipolar. Kaiton-kaiton ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
- (3) Andil atom-atom hidrogen dalam molekul air, yaitu dengan ikatan hidrogen antara oksigen dalam partikel lempung dan atom oksigen dalam molekul-molekul air.



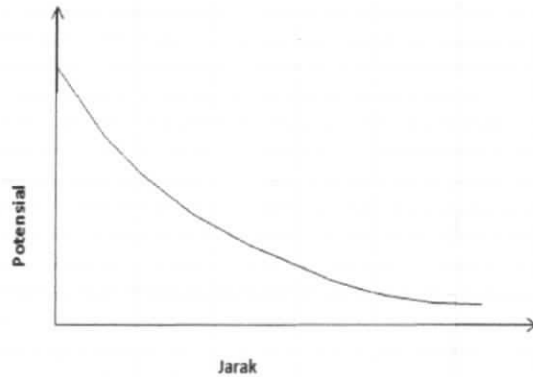
Gambar 2.9 Air pada partikel lempung (Lambe, 1960: dalam Hardiyatmo, 2012, hal.32)

Air yang tertarik secara elektrik, yang berada di sekitar partikel lempung, disebut air lapisan ganda (double-layer water). Sifat plastis tanah lempung adalah akibat eksistensi dari lapisan ganda. Ketebalan air lapisan ganda untuk kristal kaolinite dan montmorillonite.

Air lapisan ganda pada bagian paling dalam yang sangat kuat melekat pada partikel lempung, disebut air serapan (adsorbed water). Pertalian hubungan mineral-mineral lempung dengan air serapan, memberikan bentuk dasar dari susunan tanah. Tiap-tiap partikel saling terikat satu sama lain, lewat lapisan air serapan. Maka, adanya ion-ion yang berbeda, material organik, beda konsentrasi, dan lain-lainnya akan berpengaruh besar pada sifat tanah. Partikel lempung dapat tolak menolak satu dengan yang lain secara elektris, tapi prosesnya bergantung pada konsentrasi ion, jarak antara partikel, dan faktor-faktor lain. Secara sama, dapat juga terjadi saling tarik menarik antara partikel akibat pengaruh ikatan hidrogen, gaya Van

der Waals, macam ikatan kimia dan organiknya. Gaya antara partikel berkurang dengan bertambahnya jarak dari permukaan mineral. Bentuk kurva potensial sebenarnya akan tergantung pada valensi dan konsentrasi ion, larutan ion dan pada sifat dari gaya-gaya ikatannya.

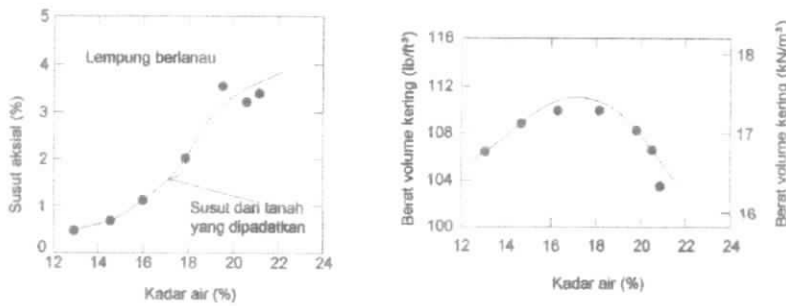
Jadi, jelaslah bahwa ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi, dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangkan muatannya. Hasil penelitian beberapa peneliti pada kaolinite dan montmorillonite menunjukkan bahwa jumlah dan distribusi muatan residu jaringan mineral, bergantung pada pH air. Dalam lingkungan dengan pH yang rendah, ujung partikel kaolinite dapat menjadi bermuatan positif dan selanjutnya dapat menghasilkan gaya tarik ujung ke permukaan antara partikel yang berdekatan. Gaya tarik ini menimbulkan sifat kohesif.



Gambar 2.10 Hubungan Potensial (Eloktromagnetis, Kimia dsb) dengan jarak Permukaan Lempung (Holtz dan Kovacs,1981: dalam Hardiyatmo,2012,hal.33)

2.1.5. Kembang-susut Tanah Lempung

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung menyusut, dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang. Derajat pengembangan bergantung pada beberapa faktor, seperti: tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, valensi kation, sementasi, adanya bahan-bahan organik, kadar air awal dan sebagainya. Perubahan volume tanah yang besar membahayakan bangunan.



Gambar 2.11 Susut aksial pada lempung berlanau (*Seed dan Chan, 1959: dalam Hardiyatmo, 2012,hal.121*).

Pengembangan lempung adalah hasil dari bertambahnya tebal lapisan ion diffuse ketika ada air. Ion-ion monovalent exchangeable sodium akan menyebabkan pengembangan lebih besar daripada ion-ion kalsium divalen. Gambar 2.11 memperlihatkan hubungan kadar air dan susut aksial tanah lempung berlanau yang dipadatkan. Susut diukur sesudah pemadatan contoh tanah pada berbagai kadar air.

Pengaruh susut pada tanah-tanah berbutir halus menjadi masalah penting dalam masalah teknis. Retak akibat susut dapat muncul secara lokal, jika tekanan kapiler melampaui kahesi atau kuat tarik tanah. Retak-retak ini, bagian dari makrostruktur lempung dan merupakan zona-zona lemah yang secara signifikan mereduksi kekuatan massa tanah secara keseluruhan, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas lereng lempung dan kapasitas dukung fondasi. Retak akibat pengeriangan permukaan yang sering dijumpai pada lempung dapat berpengaruh jelek, misalnya, pada struktur perkerasan jalan yang di atasnya. Susut dan retak akibat susut

Pengembangan tanah seperti juga penyusutan, biasanya tanah terkekang di bagian atas permukaan tanah, sehingga merusakkan struktur di atasnya, seperti perkerasan jalan, bangunan gedung ringan dan perkerasan dinding saluran. Tekanan pengembangan sebesar 1000 kPa ekuivalen dengan tinggi timbunan 40 sampai 50 meter (karena berat volume tanah sekitar 20 kN/m³). Walaupun tekanan sebesar itu jarang terjadi, namun tekanan pengembangan yang hanya 100-200 kPa harus diperhitungkan bila membangun timbunan dengan tinggi 5 atau 6 meter, contohnya timbunan untuk subgrade menurut (Holtz dan Kovacs, 1981: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 125), mempunyai tekanan ke tanah sekitar 10 kPa untuk setiap lantai. Dalam hal kerusakan akibat pengembangan tanah, harus diwaspadai adanya lempung montmorillonite.

Tabel II-5 Potensi pengembangan (Chen, 1988: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 125).

Potensi Pengembangan (kPa)	Persen lolos saringan no. 200	Batas N-SPT cair (LL)	Kemungkinan ekspansif (%)
Sangat tinggi >1000	> 95	>60	>30
Tinggi 1000	60 – 95	40 – 60	20 – 30
Sedang 250	30 – 60	30 – 40	10 – 20
Rendah	< 30	< 30	< 10

Hubungan batas cair (LL) dan berat volume kering (γ_d) di tempat (in-situ) untuk mengetahui sifat mudah mengembang dan kerusakan tanah yang didasarkan pada pengalaman U.S Water and Power Resources Service (dulu USBR).

Seed et al,1962 (dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 125), dari hasil uji laboratorium pada campuran lempung- pasir yang dipadatkan tersebut di atas memberikan definisi potensi pengembangan. Potensi pengembangan (swelling potential) adalah persentase pengembangan di bawah tekanan 6,9 kPa (1 psi), dengan contoh tanah yang dipadatkan pada kadar air optimum sehingga mencapai berat volume kering maksimumnya, menurut standar AASHTO. Didasarkan pada hasil pengujian-pengujiannya, potensi pengembangan dinyatakan oleh persamaan (Seed et al,1962: dalam Hardiyatmo,2012,hal.126) :

$$S = (3,6 \times 10^{-5}) A^{2,44} C^{3,44} \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan,

S = potensi pengembangan (persen pengembangan aksial akibat tekanan 6,9 kPa)

C = persen fraksi lempung, ukuran < 0,002 mm (persen berat)

A = aktivitas = $\Delta(PI)\Delta C$

Untuk lempung dipadatkan tersebut,(Seed et al,1962: dalam Hardiatmo, 2012,hal. 126), menyarankan hubungan potensi pengembangan, yang merupakan fungsi dari persen ukuran butiran

lempung dan aktivitas pada tanah campuran lempung-pasir yang dipadatkan sampai kepadatan maksimum standar Proctor dan dibiarkan mengembang pada tekanan terbagi rata 6,9 kPa. Gambar tersebut dibuat berdasarkan persamaan 2.4. adalah untuk mengidentifikasi potensi pengembangan tanah, yang sangat mungkin masih memerlukan pengujian lanjutan, seperti uji pengembangan. Pada tabel II-6 ditunjukkan aktivitas beberapa mineral, (Seed et al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 127) yaitu:

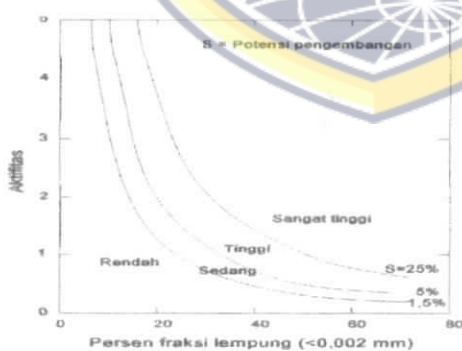
$$A = p_l / C \dots\dots\dots 2.5$$

dengan $PI =$ indeks plastisitas dan $C =$ persen fraksi ukuran lempung (diameter butiran $< 0,002 \text{ mm}$)

Untuk tanah –tanah alami (natural soil), aktivitas didefinisikan (Seed et al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 128), dengan :

$$A = PI / C - C' \dots\dots\dots 2.6$$

Menurut Seed, woodward dan lundgren (1964a), nilai $C' = 9$, nama beberapa peneliti mengusulkan $C' = 5$



Gambar 2.14 Diagram Klasifikasi Potensial Pengembangan (Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 127).

Tabel II-6 Aktivitas mineral lempung (Skempton, 1953 dan Mitchell, 1976: dalam Hardiyatmo, 2012. hal. 128),

Mineral	Aktivitas (A)
N _a -montmorillonite	4 – 7
C _a -montmorillonite	1,5
Illite	0,5 – 1,3
Kaolinite	0,3 – 0,5
Halloysite (dehydrated)	0,5
Halloysite (hydrated)	0,1
Attapulgite	0,5 – 1,2
Allophane	0,5 - 1,2
Mica (muscovite)	0,2
Calcite	0,2
Quartz	0

Persamaan (2.11) dikembangkan untuk hubungan empiris antara potensi pengembangan dan indeks plastisitas tanah (Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 128):

$$S = K(60)(PI)^{2,44} \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan $K = 3,6 \times 10^{-5}$. Sehingga potensi pengembangan dapat dinyatakan oleh (Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 128):

$$S = (2,16 \times 10^{-3})(PI)^{2,44} \dots\dots\dots 2.8$$

Memperhatikan petunjuk praktis dari USBR mengenai gambaran kemampuan pengembangan tanah, Seed et al. (1962) menyarankan klasifikasi derajat ekspansif (degree expansion) yang ditunjukkan Tabel II-7

Tabel II-7 Klasifikasi derajat ekspansi (*Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 129*).

Derajat ekspansi	Potensi pengembangan (%)
Rendah	0 – 1,5
Sedang	1,5 – 5
Tinggi	5,0 – 25
Sangat tinggi	> 25

Ranganatham dan Satyanarayana (1965) menyarankan korelasi potensi pengembangan yang sama seperti pada (*Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 129*). Korelasinya didasarkan pada indeks susut (*Shrinkage Index*), aktivitas pengembangan dan persentase fraksi ukuran lempung. Indeks susut (SI) didefinisikan sebagai perbedaan antara batas cair dan batas plastis tanah. Indeks susut menunjukkan hubungan linier pada persen fraksi lempung menurut beratnya. Dalam hal ini, aktivitas pengembangan, SA (*Swell Activity*) didefinisikan (*Seed at al, 1962: dalam Hardiyatmo, 20 12,hal. 129*), sebagai:

$$SA = \Delta(SI)/\Delta C \dots\dots\dots 2.9$$

Korelasi untuk potensi pengembangan (S) menurut (*Ranganatham dan Satyanarayana 1965: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 129*), dinyatakan oleh persamaan:

$$S = (4,57 \times 10^{-5})(SA)^{2,67} C^{2,44} \dots\dots\dots 2.10$$

$$S = (41,13 \times 10^{-5})(SI)^{2,67} \dots\dots\dots 2.11$$

Salah satu uji pengembangan telah dikembangkan oleh US Water and Power Resources Service, yaitu yang disebut uji pengembangan bebas (free-swell test) menurut (Holtz dan Gibbs, 1956: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 129). Pengujian dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10 cm³ tanah kering dengan butiran lolos sarigan no.40, ke dalam tabung gelas ukur yang diisi air dengan volume 100 cm³, dan diamati volume saat keseimbangan telah terjadi. Pengembangan bebas didefinisikan menurut (Holtz dan Gibbs, 1956: dalam Hardiyatmo, 2012. hal. 130):

$$\text{Pengembangan} = \frac{\text{Volume akhir} - \text{volume awal}}{\text{Volume awal}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

Sebagai pembanding, bentonit (sifat pengembangan tinggi, biasanya Na⁺-montmorillonite) akan mengembang dengan nilai pengembangan bebas 1200%. Tanah dengan nilai pengembangan bebas 100% dapat merusakkan bangunan ringan ketika tanah menjadi basah, dan tanah dengan nilai pengembangan bebas kurang dari 50% hanya menimbulkan sedikit perubahan volume menurut (Holts dan Kovacs, 1981: dalam Hardiyatmo, 2012,hal. 130).

Pada tanah yang dipadatkan, telah diamati bahwa tanah yang dipadatkan pada basah optimum dan pada kadar air lebih rendah memperlihatkan kurang kecenderungannya untuk mengembang. Hal ini, kemungkinan disebabkan oleh susunan tanahnya lebih beraturan. Dalam praktek bahan pencegah air semacam membran (bahan

geosintetik) telah digunakan untuk mencegah air masuk dalam zona tanah rawan pengembangan. Jika perubahan kadar air tanah fondasi dicegah, maka tidak akan ada perubahan volume tanah. Stabilisasi kimia juga telah digunakan untuk mereduksi derajat pengembangan tanah, semacam sodium montmorillonite.

2.2. Karakteristik Abu Sekam Padi (ASP)

Pada pembakaran sekam padi menjadi abu akan terjadi kehilangan zat-zat organik, dan menghasilkan sisa-sisa silika yang banyak. Pengaruh panas terhadap silika dalam sekam dapat menghasilkan perubahan struktural yang berpengaruh terhadap dua hal, yaitu tingkat *pozzoland* dan kehalusan butirannya. Menurut (Swamy 1986; dalam Suhendrik Hanwar dan Aguskar, 2002, hal.4), temperatur pembakaran kulit padi (sekam) sekitar 350° C dan kehilangan berat terjadi pada suhu 500° C. Analisis abu dengan difraksi sinar X terjadi pada suhu 700° C. Abu terutama terdiri dari silika *amorphous*, tetapi diluar temperatur 700° C, silika akan mengkristalisasi menjadi *kristobalit* dan *tridimit*, sifat dari kedua silika ini kurang reaktif.

Pada temperatur yang lebih tinggi pembakaran sekam padi dapat menghasilkan Abu sekam padi yang berwarna yang lebih cerah. Laju reaksi *pozzoland* dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kehalusan. Proses-proses lain dapat dikembangkan untuk memperoleh material yang bersifat seperti semen dari bahan kulit padi, namun *pozzoland* yang

dihasilkan sangat buruk, menurut (Swamy 1986: dalam Suhendrik Hanwar dan Aguskamar,2002,hal.4), yang pada hakikatnya hanyalah limbah, ternyata merupakan sumber silika/karbon yang cukup tinggi. Pirolisis lebih lanjut dari hasil pembakaran sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 mencapai 80 - 90%. Yang juga menarik, 15% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Pemanfaatan abu sekam padi, dengan demikian, layak untuk dipikirkan.

2.2.1. Sifat-sifat Fisik

Keadaan fisik abu sekam padi menunjukkan bahwa kerapatan gembur abu sekam tergolong sedang yaitu sebesar 760 kg/m³ (Suhendrik Hanwar dan Aguskamar,2002,hal.9). Kerapatan gembur merupakan kerapatan partikel butiran suatu bahan pada volume tertentu yang dipadatkan tetapi masih memiliki rongga diantara partikel-partikel butiran. Nilai kerapatan ini dipengaruhi oleh kerapatan senyawa kimia yang dominan terdapat pada bahan tersebut dan volume rongga yang terdapat pada volume bahan tertentu. Senyawa kimia dominan pada abu sekam padi yaitu SiO_2 tergolong memiliki kerapatan padat sedang. Walaupun kalsium oksida (CaO) memiliki kerapatan padat tinggi tetapi senyawa ini memiliki persentase sangat sedikit pada abu sekam padi. Kerapatan padat SiO_2 adalah sebesar 2.641 kg/m³ dan kerapatan padat CaO adalah sebesar 3.341 kg/m³

menurut (Suhendrik Hanwar dan Aguskamar,2002,hal.10). Kerapatan abu sekam padi sebesar 760 kg/m³ jauh lebih rendah dibandingkan dengan kerapatan semen portland tipe 1 yaitu sebesar 1.250 kg/m³.

2.2.2. Sifat-sifat Kimiawi

Sekam padi merupakan bahan hasil sampingan produk pertanian, sekam yang dibakar mempunyai sifat pozzolan yang mengandung unsure silikat yang tinggi, rata-rata SiO₂ 96,70% dengan Pozzolanic Activity Index 87%. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur padam dan air.

Tabel II-8 Sifat kimiawi abu sekam (Cramic-material.com, 2004)

No.	Unsur	Kandungan (%)
1	CaO	0.49
2	K ₂ O	0.91
3	MgO	0.22
4	Na ₂ O	0.26
5	TiO ₂	0.16
6	Al ₂ O ₃	1.01
7	P ₂ O ₅	0.01
8	SiO ₂	96.70
9	Fe ₂ O ₃	0.05
10	MnO	0.19

Sumber : Ridwan Hadi Rianto, 2007

2.2.3. Perilaku Abu Sekam Padi terhadap Air

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Silika sekam padi dalam bentuk kristalin (quartz dan opal) dan amorf terkonsentrasi pada bagian permukaan luar dan sedikit pada bagian dalam sekam menurut

(Jauberthie et al, 2000: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.70). Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50% sellulosa, 25 – 30% lignin, dan 15 – 20% silika menurut (Ismail and Waliuddin, 1996: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.70). Porositas sekam padi yang sangat tinggi yaitu sekitar 79 % menyebabkan sekam padi dapat menyerap air dalam jumlah yang banyak menurut (Kaboosi, 2007: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.70). Namun demikian karena mengandung lignin dan silika yang cukup tinggi menyebabkan sekam padi sulit terdekomposisi oleh air dan jamur perusak dan pembusuk sehingga cocok digunakan sebagai agregat komposit semen.

Masalah yang mungkin terjadi dalam pemanfaatan sekam padi untuk pembuatan komposit yang menggunakan matriks keramik (semen) yaitu besarnya nilai absorpsi air yang terjadi. Untuk mengatasi penyerapan air dalam jumlah yang banyak pada komposit semen maka volume dan ukuran rongga komposit semen harus dikurangi. Pengurangan volume dan ukuran rongga komposit semen dapat dilakukan dengan menambahkan bahan pozzolan pada matriks semen yang digunakan. Bahan pozzolan ini jika bercampur dengan semen dan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) sekunder setelah proses hidrasi berlangsung. CSH sekunder ini akan mengurangi bahkan menutup rongga yang terbentuk pada komposit semen sehingga akan mengurangi permeabilitas air yang akan masuk ke agregat sekam padi. Pasta semen setelah proses hidrasi selalu mengandung rongga-rongga berupa

makropori, pori kapiler, dan pori gel dengan ukuran yang bervariasi. Rongga-rongga ini menempati 5 – 6 % volume pasta semen yang telah terhidrasi. Pori gel merupakan lapisan antar ruang CSH yang memiliki jarak antara 1 nm sampai beberapa nm. Pori kapiler merupakan rongga-rongga yang tidak terisi oleh senyawa hasil hidrasi yang memiliki diameter 10 sampai 50 nm pada pasta semen yang memiliki rasio air/semen rendah.

Pori kapiler tidak akan terbentuk jika air yang menempati ruang-ruang digantikan oleh senyawa hasil hidrasi selama proses hidrasi terjadi. Ketika proses hidrasi terjadi ruang-ruang yang diisi oleh air pada pasta semen akan ditempati oleh senyawa-senyawa hasil hidrasi terutama CSH yang akan mengurangi permeabilitas dan meningkatkan kekuatan pasta semen menurut (Thomas et al, 2008: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71). Makropori terjadi dalam bentuk gelembung udara ketika pecampuran pasta semen dilakukan yang memiliki diameter antara 0,05 sampai 0,2 mm.

Hu and Stroeven,2005 (dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71) mengemukakan bahwa pengetahuan mengenai struktur pori secara rinci diperlukan untuk memahami sifat-sifat kekuatan dan ketahanan komposit semen namun hingga saat ini karakteristik struktur pori secara kuantitatif masih merupakan tantangan karena kerumitan jaringan interkoneksi pori dalam pasta semen. Pengaruh bahan tambahan seperti pozzolan terhadap terbentuknya struktur mikro hasil hidrasi pada pasta semen juga

belum banyak diketahui menurut (Peterson et al,2006:dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71).(Bentz,2007:dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71) menganalogkan hidrasi semen dalam konstruksi skala besar sebagai jembatan bangunan yang menghubungkan partikel-partikel semen dan sebagai bendungan yang memutuskan hubungan ruang pori kapiler yang terisi air. Ketika jembatan mikro struktur merupakan kondisi kritis dalam pengembangan sifat-sifat mekanis maka bendungan mikro struktur membatasi pengangkutan dan meningkatkan ketahanan semen. Ketika hidrasi semen menghubungkan partikel-partikel semen secara bersama-sama maka hidrasi semen juga memutuskan porositas kapiler yang terisi air.

Manfaat sekam padi saat ini telah dikembangkan pula sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu pozzolan yang dikenal di dunia sebagai abu sekam padi (rice husk ask). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi hubungan ruang pori kapiler yang terisi air. Ketika jembatan mikro struktur merupakan kondisi kritis dalam pengembangan sifat-sifat mekanis maka bendungan mikro struktur membatasi pengangkutan dan meningkatkan ketahanan semen. Ketika hidrasi semen menghubungkan partikel-partikel semen secara bersama-sama maka hidrasi semen juga memutuskan porositas kapiler yang terisi air.

Manfaat sekam padi saat ini telah dikembangkan pula sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu pozzolan yang dikenal di dunia

sebagai abu sekam padi (rice husk ask). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu $400^{\circ} - 500^{\circ} \text{C}$ akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1000°C akan menjadi silika kristalin menurut (Shinohara and Kohyama, 2004: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71). Kandungan silika pada abu sekam padi berkisar antara 92 – 95 %, sangat porous dan ringan, dan memiliki luas permukaan yang sangat besar menurut (DTI, 2003: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71). (Muthadhi et al. 2007: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71) mengemukakan bahwa abu sekam padi memiliki aktivitas pozzolanic yang sangat tinggi sehingga lebih unggul dari Supplementing cementitious material (SCM) lainnya seperti fly ash, slag, dan silica fume.

Penggunaan abu sekam padi dengan kombinasi campuran yang sesuai pada semen akan menghasilkan komposit semen yang lebih baik menurut (Singh et al, 2002: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71). Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat. Walaupun (Sarawathy and Song ,2007: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71) menyarankan penggunaan abu sekam padi sebesar 25 % untuk membuat komposit semen tetapi penggunaan abu sekam padi sampai 30 % sebagai pengganti sebagian semen masih dapat mengurangi penetrasi klorida, mengurangi permeabilitas, meningkatkan kekuatan, dan meningkatkan

sifat anti karat komposit semen. Abu sekam padi telah digunakan sebagai SCM dalam pembuatan beton yang memiliki kekuatan tinggi dan permeabilitas rendah pada jembatan, bangunan dermaga, dan bangunan pembangkit tenaga nuklir karena abu sekam padi dapat meningkatkan reaksi pozzolan untuk pembentukan kalsium silikat hidrat menurut (Dakroury and Gasser,2008: dalam Bakri dan Baharuddin,2009,hal.71).

2.3 Densitas

2.3.1. Umum

Tanah, kecuali berfungsi sebagai pendukung pondasi bangunan, juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti : tanggul, bendungan, dan jalan. Jika tanah dilapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, atau tanah digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan. Maksud pemadatan tanah menurut (Hardiyatmo,2012,hal.78) antara lain :

1. Mempertinggi kuat geser tanah,
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. Mengurangi permeabilitas,
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lainnya.

Maksud tersebut dapat dicapai dengan pemilihan tanah bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan mesin pemadat, dan jumlah lintasan yang sesuai. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume kering

(γ_d). Untuk tanah lempung dapat dipadatkan dengan cara yang benar akan membirikan kuat geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung *montmorillonite* akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar terhadap perubahan volume dibandingkan dengan lempung *kaolinite*. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada kondisi basah (jenuh).

Densitas atau pemadatan adalah peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban mekanis. Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah dipadatkan akan tergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah dan kadar airnya. Kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada kondisi kadar air dari kadar air optimum (*dry side optimum*), mendekati optimum atau optimum, dan sisi basah optimum (*wet side optimum*). Pada awal pemadatan berat volume kering bertambah ketika kadar air bertambah (**Gambar 2.15**). Pada kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume kering (γ_d), Menurut (*Hardiyatmo, 2012, hal 80*):

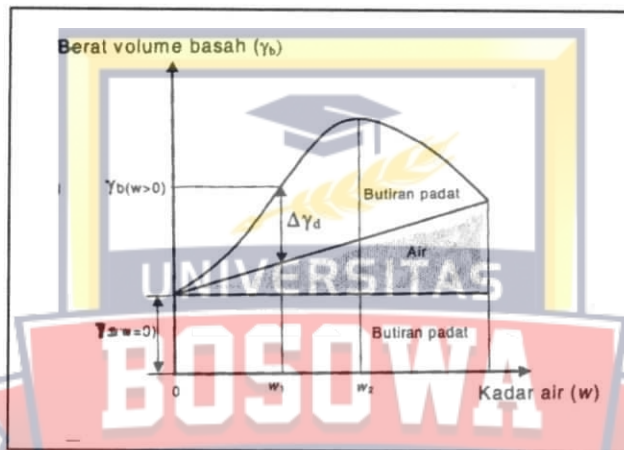
$$\gamma_{b(w=0)} = \gamma_d = \gamma_1 \dots\dots\dots(2.13)$$

Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah, berat butiran tanah padat per volume satuan juga bertambah. Misalnya pada saat kadar air sama dengan w_1 , maka berat volume basah (γ_b) menjadi $\gamma_b = \gamma_2$ dan berat volume kering (γ_d) pada kadar air tersebut, menurut (*Hardiyatmo, 2012, hal.81*) :



$$\gamma_d (w=w_1) = \gamma_d(w=0) + \Delta\gamma_d \dots\dots\dots (2.14)$$

Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu $w = w_2$ (saat kadar air optimum) kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume berat kering mencapai maksimum ($\gamma_{d \text{ mak}}$) disebut kadar air optimum (w_{opt})



Gambar 2.15 Prinsip-prinsip pemadatan (Johnson dan Sallberg, 1960: dalam Hardiyatmo, 2012,hal 80).

2.3.2. Perencanaan Pemadatan

Proctor, 1933 (Hardiyatmo, 2012,hal.81) mengamati bahwa pada tanah yang dipadatkan, ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume tanah kering. Hubungan berat volume tanah kering (γ_d) dengan berat volume tanah basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dalam persamaan berikut, menurut (Hardiyatmo, 2012, hal.81) :

$$\gamma_d = \gamma_b / (1 + w) \dots\dots\dots 2.15$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbukan karakteristik kepadatan tanah dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut Uji Proctor.

Alat pemadat berupa silinder mould yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (Gambar 2.16). tanah di dalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Di dalam uji proctor dimodifikasi, mould yang digunakan masih tetap sama, hanya berat pemukulnya diganti dengan yang 4,54 kg dengan tinggi jatuh 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam mould ditumbuk dalam 5 lapisan.

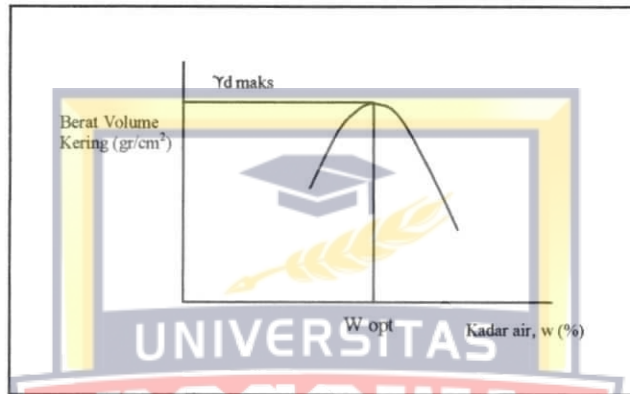


Gambar 2.16 Alat Uji Standar Proctor (Hardiyatmo, 2012,hal.82)

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Hasil pengujian digambarkan dalam sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume kering (seperti lihat Gambar. 2.17). Dari grafik ditunjukkan bahwa nilai

kadar air yang terbaik (w_{opt}) . untuk mendapatkan berat volume kering terbesar atau kepadatan atau kepadatan maksimum (*MDD : Maximum Dry Density*).

Kadar air pada keadaan kepadatan maksimum disebut kadar air optimum (*OMC : Optimum Moisture Content*).



Gambar 2.17 Grafik volume kering dan kadar air (*Hardiyatmo, 2012,hal.82*)

Kemudian berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering jenuh (γ_{sav}), dapat dihitung dari persamaan (*Hardiyatmo, 2012,hal.83*):

$$\gamma_{sav} = G_s \gamma_w / (1 + wG_s) \dots \dots \dots (2.16a)$$

Saat tanah jenuh ($S = 1$) dengan $e = w G_s$, maka

$$\gamma_{sav} = G_s \gamma_w / (1 + e) \dots \dots \dots (2.16b)$$

Berat volume kering (γ_d) setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (*air content*), A ($A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$) dapat dihitung dengan persamaan $\gamma_d = G_s(1 - A)\gamma_w / (1 + wG_s)$(2.17)

Hubungan berat volume kering pada kadar udara tertentu dengan kadar air, dari hasil uji Standar Proctor dan proctor dimodifikasi untuk tanah dengan berat jenis $G_s = 2,65$ ditunjukkan dalam gambar (2.18).



Gambar 2.18 Hubungan berat volume kering pada kadar udara tertentu Dengan kadar air dari hasil uji Standar Proctor dan Proctor modifikasi 1997 (Hardiyatmo, 2012,hal.84):

Untuk menentukan variasi kadar air (w) dengan γ_{sav} , maka dilakukan cara sebagai berikut (Hardiyatmo, 2012,hal.84):

1. Tentukan berat jenis tanah (G_s) dari uji laboratorium,
2. Pilihlah beberapa kadar air (w) tertentu, misalnya 5%, 10%, 15% dan seterusnya,

3. Hitung γ_{sav} untuk beberapa nilai kadar air (w) dengan menggunakan persamaan (2.16).

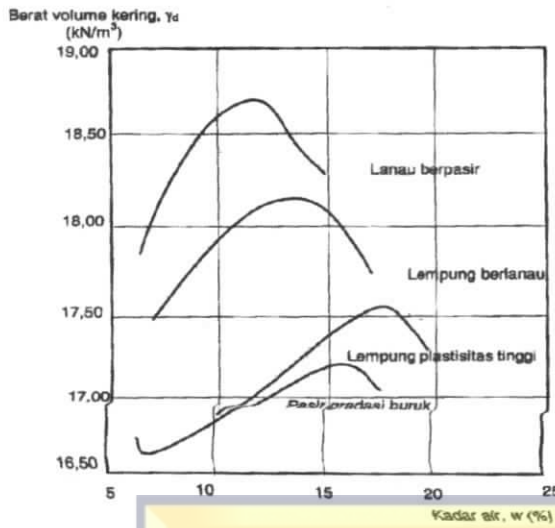
2.3.3 Faktor-faktor yang pengaruhi Hasil Pemadatan

Telah dipahami bahwa kadar air mempunyai pengaruh besar terhadap derajat kepadatan yang dicapai oleh tanah tertentu. Selain kadar air, faktor yang sangat mempengaruhi kepadatan adalah macam tanah dan energi pemadatan.

a. Pengaruh macam tanah

macam tanah dipengaruhi oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat jenis dan jenis mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya. Gambar 2.19 memperlihatkan sifat-sifat khusus kurva pemadatan yang diperoleh dari beberapa macam tanah, yang diuji menurut prosedur ASTM D-698. Bentuk kurva yang mendekati lonceng (bel) umumnya diperoleh pada tanah-tanah lempung.

Pada tanah pasir, γ_d cenderung berkurang pada saat kadar air (w) bertambah. Pengurangan γ_d ini adalah akibat pengaruh hilangnya tekanan kapiler dalam tanah yang berada dalam rongga pori menghalangi kecenderungan partikel tanah untuk bergerak, sehingga butiran cenderung merapat (padat).



Gambar 2.19 Kurva hasil Uji Pemadatan pada berbagai Jenis Tanah ,ASTM D-698. (Hardiyatmo, 2012, hal.85)

b. Pengaruh Usaha Pemadatan

Energi pemadatan per volume satuan (E) dinyatakan oleh persamaan (Hardiyatmo, 2012, hal.87) :

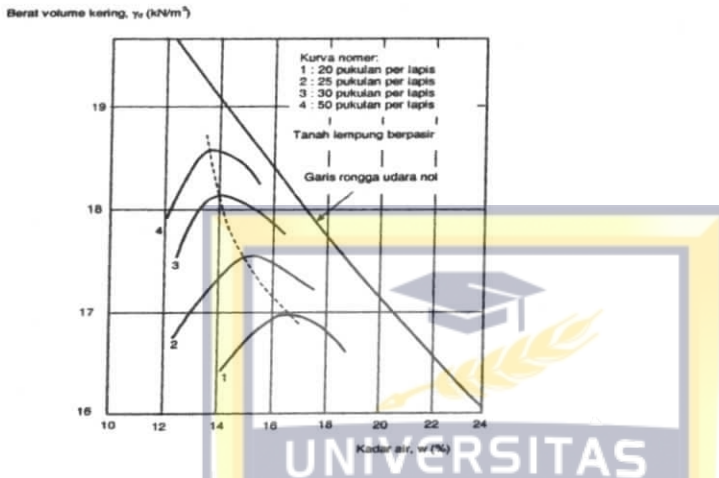
$$E = \frac{N_b N_l W H}{V} \quad (2.18)$$

Dengan :

- E = energi pemadatan per volume satuan
- N_b = jumlah pukulan per lapisan
- N_l = jumlah lapisan
- W = berat pemukul
- H = tinggi jatuh pemukul
- V = volume mould

Pada uji Standar Proctor

$$E = \frac{(25)(3)(5,5)(1)}{(1/30)} = 12375 \text{ ft-lb/ft}^2 \text{ (592,5 kl/m}^3\text{)}$$



Gambar 2.20 Kurva hasil Uji Pemadatan pada berbagai Jenis Tanah ,ASTM D-698. (Hardiyatmo, 2012, hal.87).

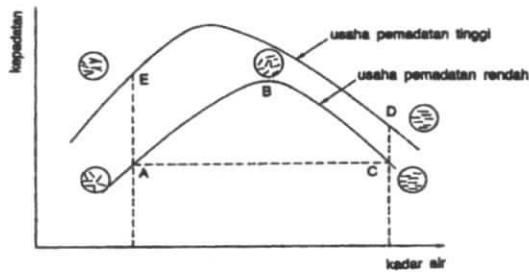
Jika usaha pemadatan per volume satuan (E) berubah, maka bentuk kurva hubungan kadar air terhadap berat volume kering juga berubah. Pada gambar 2.20 diperlihatkan hasil uji pemadatan tanah lempung berpasir dengan mould sama, yaitu 3 lapisan, akan tetapi jumlah pukulan pada tiap lapisan dibedakan, yaitu antara 20 sampai 50 kali pukulan. Besarnya energi pemadatan dihitung dengan menggunakan persamaan (2.18).

2.3.4 Sifat-sifat Tanah Lempung Dipadatkan

Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah, dan kadar airnya.

Seperti sudah dipelajari, pada usaha pemadatan yang lebih besar diperoleh kepadatan yang lebih tinggi. Kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (dry side of optimum), dekat optimum atau optimum. Dan sisi basah optimum (wet side of optimum). Kering optimum didefinisikan sebagai kadar air yang kurang dari pada kadar air optimumnya. Basah optimum didefinisikan sebagai kadar air yang lebih dari kadar air optimumnya.

Penyelidikan pada tanah lempung yang dipadatkan memperlihatkan bahwa bila lempung dipadatkan pada kering optimum, susunan tanah akan tidak bergantung pada macam pemadatannya menurut (Seed dan Chan, 1959: dalam Hardiyatmo, 2012, hal.89). Pemadatan tanah dengan kadar air pada basah optimum akan mempengaruhi susunan, kuat geser, serta sifat kelempungan tanah. Pada usaha pemadatan yang sama, dengan penambahan kadar air, penyesuaian susunan butiran menjadi bertambah. Pada kering optimum, tanah terlalu terflokulasi. Sebaliknya, pada basah optimum susunan tanah pada titik C lebih teratur dari pada A. Jika usaha pemadatan ditambah, susunan tanah cenderung untuk lebih beraturan penyesuaiannya, bahkan berlaku juga pada kondisi kering optimum. Lihat gambar 2.21, contoh dalam titik E lebih teratur daripada titik A, sedangkan pada kondisi basah optimum, susunan pada titik D akan lebih teratur dari pada titik C.



Gambar 2.21 Pengaruh pemadatan pada susunan Tanah (Lambe, 1958: dalam Hardiyatmo, 2012,hal.89):

2.3.5. Uji Kepadatan Tanah

Uji kepadatan tanah pada umumnya dilakukan dengan uji kepadatan tanah di Lapangan. Ada 2 (dua) cara untuk menguji kepadatan tanah di Lapangan yaitu dengan cara pemindahan tanah dan cara langsung menurut

(Hardiyatmo, 2012,hal 105), sebagai berikut :

1). Cara Pemindahan Tanah

Cara dengan Pemindahan Tanah adalah sebagai berikut :

- (1) Digali lubang pada permukaan tanah timbunan yang dipadatkan.
- (2) Ditentukan kadar airnya,
- (3) Diukur volume dari tanah yang digali. Cara yang biasa dipakai untuk ini adalah metode kerucut pasir (*Sand cone*) dan balon karet (*Rubber Baloon*). Dalam cara kerucut pasir, pasir kering yang telah diketahui berat volumenya dituangkan keluar lewat kerucut pengukuran kedalam lubang dipermukaan tanah. Volume lubang dapat ditentukan dari berat pasir di dalam lubang dan berat volume

keringnya. Dalam cara balon karet, volume ditentukan secara langsung dari pengembangan balon yang mengisi lubang galian.

(4) Dihitung berat volume basah (γ_b). Karena berat dari tanah yang digali dapat ditentukan dan volumenya telah diperoleh dari butir (3), maka γ_b dapat ditentukan. Dengan kadar air yang telah ditentukan di laboratorium, berat volume kering dilapangan dapat ditentukan.

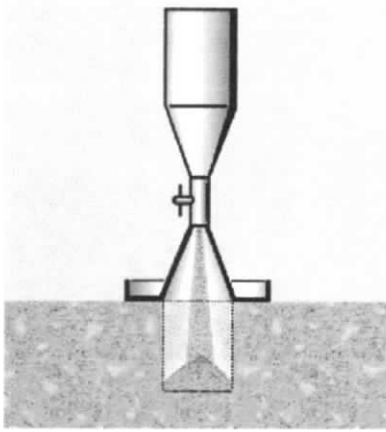
(5) Bandingkan berat volume kering lapangan dengan berat volume kering maksimumnya, kemudian hitung kepadatan relatifnya.

2). Cara Langsung

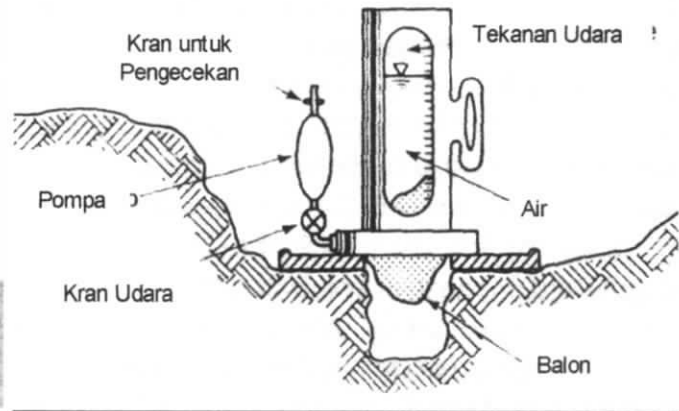
Cara langsung adalah pengukuran kepadatan dilapangan dengan pengujian yang menggunakan Isotop Radioaktif, disebut dengan metode pengujian kepadatan Nuklir (Nuclear Density Test). Dalam cara ini pengujian kepadatan di lapangan dapat dilaksanakan dengan cepat dan mudah (Hardiatmo, 2012, hal 107).



Gambar 2.22 Nuclear Dencity Test



Gambar 2.23 Metode Kerucut Pasir



Gambar 2.24. Metode Rubber Balloon

2.4. Permeabilitas

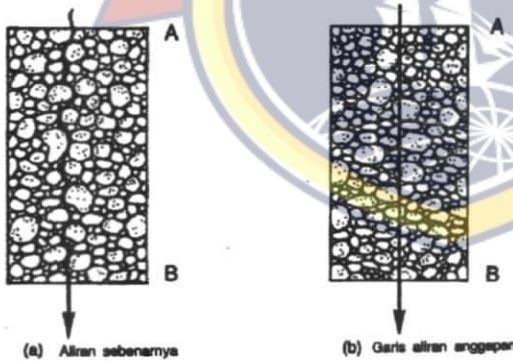
Permeabilitas adalah cepat lambatnya air merembes ke dalam tanah baik melalui pori makro maupun pori mikro baik ke arah horizontal maupun arah vertikal (Jamulya dan Suratman Woro Suprodjo, 1983: *Ilmu-tanah.blogspot.com/2012/06/permeabilitas-tanah.html?m=1*) dapat diartikan sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran/rembesan dari cairan melewati rongga porinya. Karena pori-pori saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, mengakibatkan air mengalir dari titik yang mempunyai tinggi energi yang lebih tinggi, ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Didalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan).

Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam peraktek, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil.

2.4.1. Garis Aliran

Aliran air lewat suatu kolom tanah diperlihatkan dalam gambar 2.21a. masing-masing partikel air bergerak dari ketinggian A ke ketinggian B yang lebih rendah, mengikuti lintasan yang berkelok-kelok (ruang pori) diantra butiran padatnya. Kecepatan air bervariasi dari titik ke titik tergantung dari ukuran dan konfigurasi rongga pori tiap partikel air dianggap bergerak melewati lintasan lurus yang disebut garis aliran (gambar 2.25).



Gambar 2.25. Aliran Air Tanah (*Hardiyatmo, 2012, hal.156*)

2.4.2. Aliran Air dalam Tanah

Aliran air arah horisontal yang melewati tabung berisi tanah dilukiskan dalam gambar 2.26. Tinggi energi total (*total head*) adalah tinggi

energi elevasi atau *elevation head* (z) ditambah tinggi energi tekanan atau *pressure head* (h), yaitu ketinggian kolom air h_A atau h_B di dalam pipa ukur dalam milimeter atau meter di atas titiknya. Untuk air di dalam tanah, tinggi energi kecepatan (*velocity head*) diabaikan karena nilainya sangat kecil. Ketinggian air di dalam pipa piezometer menunjukkan tekanan air pada titik tersebut. Tekanan air pada titik tertentu dapat dinyatakan oleh persamaan umum (*Hardiyatmo, 2012, hal. 156*):

$$P = \gamma_w h \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan demikian tinggi energi tekanan (*pressure head*) pada titik-titik A dan B adalah :

$$h_A = \frac{p_A}{\gamma_w} \text{ dan } h_B = \frac{p_B}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan p adalah tekanan (t/m^2 , kN/m^2), h adalah tinggi energi tekanan (m) dan γ_w adalah berat volume air (t/m^3 , kN/m^3). Tekanan air pori biasanya diukur terhadap tekanan atmosfer relatif. Ketinggian air dengan tekanan atmosfer nol, didefinisikan sebagai permukaan air tanah atau permukaan freatis. Kondisi artesis dapat terjadi jika lapisan tanah miring yang berpermeabilitas tinggi diapit oleh dua lapisan tanah yang berpemeabilitas rendah.

Tekanan hidrostatik bergantung pada kedalaman suatu titik di bawah muka air tanah. Untuk mengetahui besarnya tekanan air pori, teorema Bernoulli dapat diterapkan. Menurut (*Bernoulli: dalam*

Hardiyatmo,2012,hal.157) tinggi energi total (total head) pada suatu titik A dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z \dots\dots\dots (2.21)$$

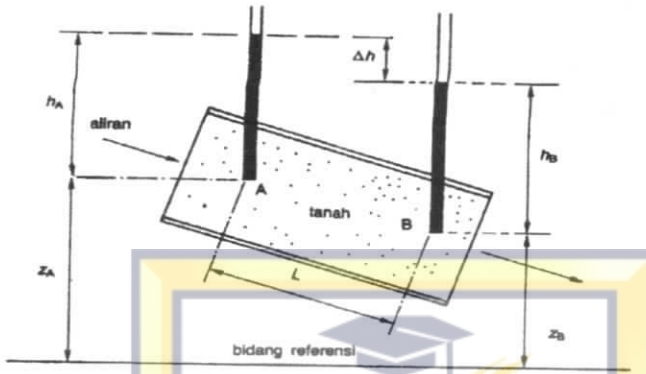
Dengan :

- h = tinggi energi total (total head) (m)
- p/γ_w = tinggi energi tekanan (pressure head) (m)
- p = tekanan air (t/m^2 , kN/m^2)
- $v^2/2g$ = tinggi energi kecepatan (velocity head) (m)
- v = kecepatan air (m/det)
- γ_w = Berat volume air (t/m^3 , kN/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/det^2)
- z = tinggi energi elevasi (m)

Karena kecepatan rembesan didalam tanah sangat kecil, maka tinggi energi kecepatan dalam suku persamaan (Bernoulli: dalam Hardiyatmo,2012,hal.157) dapat diabaikan. Sehingga persamaan tinggi total menjadi,

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + z \dots\dots\dots (2.22)$$

Untuk menghitung debit rembesan lewat tanah pada kondisi tertentu, ditinjau kondisi tanah seperti dalam gambar 2.26. luas potongan melintang tanah sebesar A, dengan debit rembesan q.



Gambar 2.26. Aliran Rembesan dalam Tanah
(Hardiatmo, 2012, hal. 157)

Dari persamaan (Bernoulli) : dalam Hardiyatmo, 2012, hal. 158), kehilangan tinggi energi antara dua titik A dan B (Δh) dinyatakan oleh persamaan :

$$\Delta h = \left[\frac{\rho_A}{\gamma_w} + z_A \right] - \left[\frac{\rho_B}{\gamma_w} + z_B \right] \dots \dots \dots (2.23)$$

Persamaan (2.23) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta h = (h_A + z_A) - (h_B + z_B) \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan h_A dan h_B berturut-turut adalah tinggi energi tekanan pada titik A dan B. Gradien hidrolis (*hydraulic gradient*) (i), didefinisikan sebagai berikut :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan L adalah jarak antaran potongan A dan B. Nilai tinggi energi elevasi (z) diambil positif bila titik yang ditinjau terletak di atas bidang referensi (datum) seperti pada gambar 2.23. dan negatif bila di bawahnya. Jarak vertikal antara elevasi piezometer di A dan B, disebut Tinggi energi hidrolis (*hydraulic head*), yaitu Δh .

Berdasarkan fenomena tersebut, (*Darcy, 1956: dalam Suhendrik Hanwar dan Aguskamar,2002,hal.3*) memperkenalkan suatu persamaan sederhana untuk menghitung kecepatan aliran air yang mengalir dalam tanah jenuh.

$$V = ki \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan v adalah kecepatan aliran air berdasarkan luas penampang melintang tanah, k koefisien permeabilitas/rembesan (cm/det), dan i gradien hidraulik.

Kadar air terkandung di dalam tanah lempung sangat mempengaruhi karakteristik mekanis jumlah air yang mengalir melalui tanah dalam satuan waktu (q) maka persamaan di atas menjadi :

$$q = vA = kiA = k \Delta h/L \cdot A \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan A = luas penampang aliran. Koefisien permeabilitas (k) mempunyai satuan yang sama dengan satuan kecepatan cm/det atau mm/det, yaitu menunjukkan ukuran tahanan tanah terhadap aliran.

2.4.3 Uji Permeabilitas di Laboratorium

Penentuan Koefisien Permeabilitas dari Uji Konsolidasi, koefisien permeabilitas tanah lempung dari 10^6 sampai 10^{-9} cm/det dapat ditentukan dalam sebuah *falling head permeameter* yang direncanakan khusus dari percobaan konsolidasi. Pada alat ini luas benda uji dibuat besar. Untuk menghindari penggunaan pipa yang tinggi, tinggi tekanan dapat dibuat dengan jalan pemberian tekanan udara. Skema alat ini ditunjukkan pada gambar 2.27.



Gambar 2.27 Uji Permeabilitas dengan Alat Konsolidasi (Hardiyatmo, 2012, hal.175)

Penentuan koefisien permeabilitas deperoleh dari persamaan konsolidasi sebagai berikut (Hardiyatmo,2012. Hal.176) :

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan : C_v = koefisien konsolidasi

T = waktu pengaliran

T_v = faktor waktu

H = panjang rata-rata.

Koefisien perubahan volume, dinyatakan oleh persamaan :

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma(1+e)} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan :

e = perubahan angka pori pada perubahan tekanan tertentu

$\Delta \sigma$ = tambahan tekanan yang diterapkan.

Koefisien konsolidasi, dinyatakan oleh persamaan :

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan γ_w = berat volume air

Substitusi dari persamaan (2.28) sampai (2.30), menghasilkan :

$$k = \frac{T_v \gamma_w \Delta e H^2}{t \Delta \sigma(1+e)} \dots\dots\dots (2.31)$$

untuk 50% konsolidasi, $T_v = 0,198$, maka dapat diperoleh dengan

persamaan koefisien permeabilitas :

$$k = \frac{0,198 \gamma_w \Delta e H^2}{t_{50} \Delta \sigma(1+e)} \dots\dots\dots (2.32)$$

2.5. Penelitian Sejenis

Belum ditemukan oleh penulis penelitian tentang Pengaruh Stabilisasi Abu Sekam Padi terhadap Densitas dan Permeabilitas Tanah Lempung Lunak. Namun ditemukan beberapa penelitian yang berkaitan dengan abu sekam padi terhadap tanah lempung lunak, secara terpisah dengan tema yang berbeda-beda.

2.5.1. Penelitian oleh Muntohar, A. S. dan B. Hantoro (2001)

Penelitian tentang abu sekam sendiri sudah pernah dilakukan oleh Muntohar, A. S. dan B. Hantoro (2001). Penelitian ini mencoba melihat pengaruh abu sekam terhadap proses stabilisasi tanah lempung. Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai

berikut:

- a. Abu sekam dapat mengurangi kembang susut dari tanah lempung dengan melihat penurunan indeks plastis-nya dari 41,25% menjadi 0,96% pada kadar abu sekam 12-12,5 %.
- b. Potensi kembang susutnya sendiri menurun dari 19,23 % menjadi 0,019 %.
- c. Nilai CBR tanah meningkat dari 3,03% menjadi 16,3% pada kadar abu sekam 6 - 12.5%.
- d. Friksi internalnya meningkat dari 5,36 menjadi 23,85.
- e. Kohesi tanahnya meningkat dari 54.32 kN/m² menjadi 157,19 kN/m².

- f. Peningkatan parameter geser akibat CBR menjadi 4.131 kN/m² dari yang sebelumnya 391,12 kN/m².
- g. Pada kadar abu sekam 6 - 10%, penurunan konsolidasi mengecil, yaitu dari 0,03 menjadi 0,006.

2.5.2. Penelitian oleh Herina, S. F. (2000)

Herina, F. S. (2000) melakukan penelitian dengan judul "Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Fondasi Ekspansif Untuk Bangunan Sederhana". Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

- a. Abu sekam padi yang mengandung silikat tinggi dapat bersifat sementasi jika dicampur dengan kapur dan air, dengan memaksimalkan sifat ini diharapkan abu sekam dapat mengendalikan ketidak stabilan tanah ekspansif dengan mengikat mineral penyebab ekspansinya (montmorillonite)
- b. Komposisi campuran 5% abu sekam + kapur dan 95% tanah asli memberikan kadar air optimum 27,42%, dan berat isi 0,55 gr/cm³
- c. Melalui tahapan campuran yang benar komposisi 5% bahan stabilisator mampu meningkatkan kestabilan dan daya dukung fondasi.
- d. Campuran dengan komposisi 15% bahan stabilisator menunjukkan hasil yang sedikit berbeda dengan komposisi 5%.
- e. Hasil maksimal kajian hanya dapat diperoleh setelah melewati 2 musim.

2.5.3. Penelitian oleh Darwis (1998)

Darwis (1998) melakukan penelitian dengan judul "Stabilisasi Tanah Lempung Rawa dengan Menggunakan Abu Sekam". Dari penelitian ini didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:

1. Pengaruh kadar abu sekam terhadap kepadatan kering dan angka pori tanah.

Dari hasil pengujian yang dilakukan terlihat bahwa kadar abu sekam yang dicampurkan kedalam tanah sangat mempengaruhi kepadatan kering tanah, semakin besar kadar abu sekam, semakin besar pula kepadatan kering yang terjadi pada tanah yang distabilisasi. Sifat butiran abu sekam yang relatif halus, sehingga memperkecil angka pori dalam tanah. Keberadaan abu sekam dalam tanah sangat menguntungkan daya dukung tanah, karena dapat memperbesar confining pressure akibat adanya peningkatan kepadatan kering tanah.

2. Pengaruh kadar abu sekam terhadap kadar air tanah.

Penambahan kadar abu sekam kedalam tanah lempung juga kelihatannya dapat memperkecil kadar air tanah yang distabilisasi.

3. Pengaruh abu sekam terhadap kohesi dan sudut geser dalam tanah.

Dari hasil pengujian Triaxial yang dilakukan kelihatan bahwa penambahan kadar abu sekam berpengaruh secara signifikan terhadap penambahan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah secara bersamaan. Peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam secara bersamaan ini sangat menguntungkan peningkatan kekuatan

geser (shear strength) pada tanah yang distabilisasi. Sehingga dengan demikian dapat dikatakan bahwa tindakan stabilisasi tanah lempung rawa dengan bahan abu sekam mutlak meningkatkan kekuatan geser tanah.

4. Pengaruh kadar abu sekam terhadap kekuatan tekan tanah.

Dari pengujian Unconfined Compression yang dilakukan terlihat bahwa penambahan kadar abu sekam semakin meningkatkan kekuatan tekan pada tanah yang distabilisasi.

5. Pengaruh umur tanah stabilisasi terhadap kohesi dan sudut geser tanah.

Pengujian yang dilakukan pada tiga tingkatan kadar abu sekam yang linier, dengan waktu curing dari 1 hari sampai 28 hari, terlihat jelas bahwa penambahan umur campuran tanah dan abu sekam sangat mempengaruhi peningkatan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lapisan campuran lempung rawa dengan abu sekam, semakin lama akan memberikan kekuatan geser yang semakin besar pula.

6. Pengaruh umur tanah stabilisasi terhadap kekuatan tekan tanah.

Sama halnya dengan pengaruh umur terhadap kohesi dan sudut geser dalam tanah, pada pengujian unconfined compression terhadap berbagai umur curing sampel, dihasilkan nilai kekuatan tekan tanah yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan umur sampel yang diuji. Peningkatan kekuatan tekan yang terjadi pada tanah yang

distabilisasi cukup besar karena hampir mencapai 1000 %. Gejala ini membuktikan bahwa stabilisasi tanah lempung rawa dengan abu sekam sangat signifikan dalam upaya meningkatkan daya dukung tanah yang dibutuhkan berbagai macam konstruksi sipil.

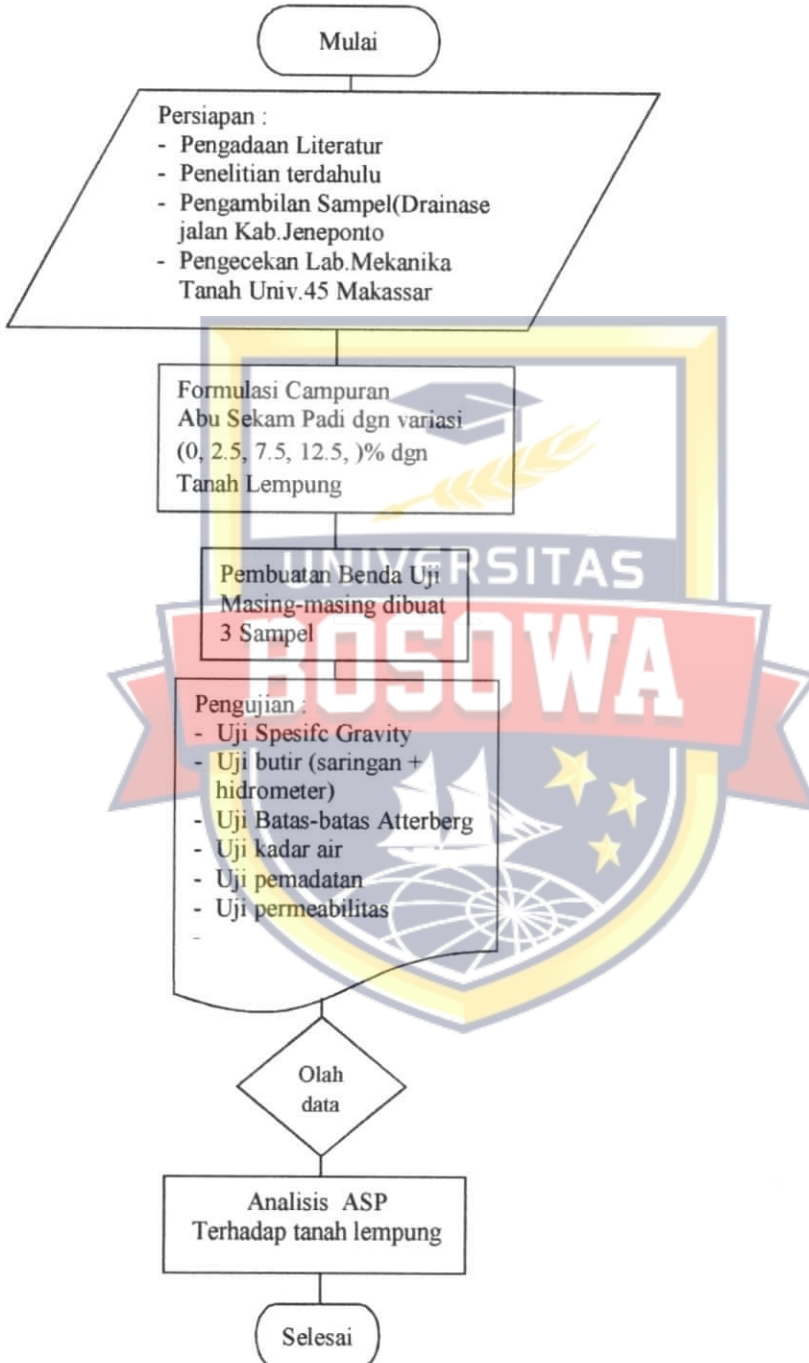
Tabel II – 9 Hasil Penelitian Sejenis

No	Tahun	Peneliti	Variasi Penelitian (%)	Hasil		
1	2001	Muntohar, A. S. dan B. Hantoro	0, 6, 10, 12, 12.5 Pada variasi campuran 12 – 12.5 % 6 – 12.5% 6 – 10%	<p>1. Penurunan indeks plastis-nya dari 41,25% menjadi 0,96%</p> <p>2. Kembang susutnya menurun dari 19,23 % menjadi 0,019 %.</p> <p>Nilai CBR tanah meningkat dari 3,03% menjadi 16,3%</p> <p>Penurunan konsolidasi mengecil, yaitu dari 0,03 menjadi 0,006.</p>		
2	2000	Herina, S. F.	Variasi Campuran (%)	Kadar Air Optimum (%)	Tekanan Maksimum (t/m ³)	
			2	27,42	0,55	
			5	14,37	0,484	
			15	26,5	0,45	
3	1998	Darwis	Variasi Campuran (%)	Kadar Air (%)	Kepadatan (Gr/cm ³)	e (energi pemadatan)
			5	54,	0,980	1,679
			10	40	1,024	1,563
			15	53,	1,046	1,500
				80		
				52,		
				25		

BAB . III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Persiapan

Sebelum dilakukannya penelitian yang pertama-tama diperhatikan adalah :

1. Literatur

Penyediaan literatur sebagai langkah awal peneliti setelah tema penelitian diajukan dan diterima oleh pembimbing. Literatur dikumpulkan yang berhubungan dengan tema penelitian, kemudian dilakukan pendalaman teori serta metode penelitian yang akan dilakukan. Penyediaan literature dapat dilakukan dengan cara membeli dan meminjam melalui perpustakaan.

2. Penelitian terdahulu

Pengumpulan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan tema penelitian, baik diperoleh melalui jurnal penelitian maupun diperoleh melalui website. Hal ini dilakukan oleh peneliti guna memperoleh informasi mengenai metodologi penelitian dan hasil penelitian yang sejenis.

3. Sampel/ccontoh tanah lempung lunak dan abu sekam padi

Pengambilan sampel/ccontoh tanah menurut peneliti yang mudah diperoleh pada lokasi pengambilan di pinggiran Danau, Sawa, Tambak. Pengambilan sampel tanah lunak dilakukan pengambilan pada daerah atau tanah yang tidak terganggu pada kedalaman kurang lebih 50 cm. Banyaknya tanah yang diambil sebagai sampel, kurang lebih ½ karung beras 25 Kg. Sedangkan abu sekam padi diambil di

daerah Kabupaten Maros (pabrik beras). Pengambilan abu sekam padi yang sudah terbakar dengan warna putih keabu-abuan. Banyaknya abu sekam padi yang diambil adalah kurang lebih $\frac{1}{2}$ karung beras 25 kg.

4. Laboratorium

Pengecekan laboratorium pada Instansi terkait, yaitu di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas 45 Makassar. Pengecekan Lab ini dilakukan oleh peneliti untuk memastikan ketersediaan peralatan yang digunakan dalam penelitian dalam kondisi baik, jadwal penelitian yaitu pengecekan pemakaian laboratorium oleh pihak instansi guna penyusunan kegiatan penelitian yang diawali pengajuan surat permohonan penelitian serta ketersediaan tenaga laboran yang nantinya akan membantu dalam pelaksanaan penelitian.

3.3. Formulasi Campuran

Formulasi campuran bertujuan menentukan proporsi agregat dan mencari variasi kadar abu sekam padi (0%, 2,5%, 7,5%, dan 12,5%) yang akan digunakan untuk membentuk karakter fisis tanah lempung setelah dilakukan formulasi campuran yang ditentukan menurut spesifikasi **Bina Marga (1991)**. Dari masing-masing agregat kemudian digabung dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan prosentase gabungan yang sesuai dengan spesifikasi .

3.4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji masing-masing variasi (3 Variasi) kadar abu sekam padi sebanyak 3 buah . Lima variasi sampel benda uji nantinya dilakukan pengujian Spesific Gravity, Analisa Saringan, Batas-batas Atterberg, Kadar air, Pemadatan dan Permeabilitas. Indeks properties tanah ini terdiri dari analisa saringan, batas-batas Atterberg, dan specific gravity. Untuk 4 benda uji tanah campuran diberi perlakuan curing selama 0, 1, 7 dan 14 hari sebelum dilakukan pengujian Pemadatan dan uji Pengembangan (*Swelling*)

3.5 Pengujian Tanah

3.5.1. Pengujian Spesific Gravity

1.Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini terdiri :

1. Oven laboratorium
2. Saringan no. 4
3. Piknometer dengan kapasitas 50 ml
4. Timbangan dengan ketelitian 0.01 gr.
5. Corong.
6. Hot plate dan cawan yang berisi pasir
7. Cawan perendam.
8. Termometer

2. Bahan yang digunakan

1. Tanah lolos saringan
2. Air suling

3. Prosedur Pengujian

1. Siapkan benda uji yang lolos saringan no.40, masukkan dalam oven selama 24 jam.
2. Setelah 24 jam, dikeluarkan dari dalam oven lalu dinginkan.
3. Cuci piknometer kemudian biarkan mengering dalam udara terbuka.
4. Timbang piknometer yang telah kering dalam keadaan kosong (W1).
5. Isi piknometer dengan air suling sampai penuh lalu timbang. (W2).
6. Ambil sampel tanah sekitar 25 gram, masukkan dalam piknometer.
Pada saat dimasukkan, usahakan tidak ada tanah yang tersisa atau tumpah, lalu tambahkan air suling secukupnya.
7. Keluarkan gelembung-gelembung udara yang terperangkap dalam tanah dengan cara memanaskan piknometer tersebut diatas hot plate.
8. Dinginkan, lalu tambahkan air suling sampai menyentuh garis batas piknometer. Ulangi berkali-kali sampai tidak terjadi penurunan air pada garis batas piknometer tersebut.

9. Catat suhunya, lalu ditimbang. (W3)

4. Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian ini adalah:

Jika W_1 : Berat piknometer kering dan kosong

W_2 : Berat piknometer dan tanah.

W_3 : Berat piknometer, tanah dan air suling.

W_4 : Berat piknometer dan air suling.

W_s : Berat tanah

Maka, Berat jenis (Specific gravity) adalah

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots 3.1$$

Karena temperature mempengaruhi hasil pengukuran dimana temperatur standar untuk air destilasi adalah 20°C , sehingga:

$$G_s = \frac{\alpha \cdot W_s}{(W_2 + W_s + W_3)} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :

α = Faktor koreksi

$$\alpha = \gamma_T / \gamma_{20}$$

γ_T = Nilai koefisien temperatur air pada saat pembacaan termometer.

γ_{20} = Nilai koefisien air destilasi.

3.5.2. Pengujian Butir (saringan + hidrometer)

1. Peralatan Pengujian saringan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian analisa saringan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan.
2. Talang.
3. Oven.
4. Palu karet.
5. Kuas.
6. Satu set saringan no.4,10,18,40,60,100,200 dengan pan.
7. Motorised dynamic sieves shaker.

2. Bahan yang digunakan

1. Tanah yang lolos saringan no.4 seberat 500 gr.
2. Air

3. Prosedur Pengujian

a. Cara kering

1. Tanah kering oven sebanyak 500 gram, lolos saringan no.4
2. Bersihkan masing-masing saringan :
#4,#10,#20,#40,#60,#100,#200, + pan yang akan digunakan, kemudian timbang masing-masing saringan tersebut dan susun sesuai standard yang dipakai.
3. Masukkan sample kedalam susunan saringan tersebut.
4. Letakkan kealat penguncang saringan, kencangkan penjepitnya.

5. Hidupkan motor penggerak mesin pengguncang selama ± 15 menit.
6. Setelah dilakukan pengguncang selama ± 15 menit, mesin pengguncang dimatikan. Biarkan selama 5 menit untuk memberi kesempatan, agar debu-debu mengendap.
7. Timbang berat masing-masing saringan beserta benda uji yang tertahan didalamnya demikian pula halnya dengan pan.

b. Cara basah

1. Contoh tanah dari lapangan dikeringkan (dijemur) atau dengan menggunakan alas pemanas lain dengan suhu tidak lebih dari 60°C . Tumbuk gumpalan-gumpalan tanah dengan menggunakan palu karet agar butiran-butirannya lepas agar benda uji dapat mewakili, maka dilakukan cara seperempat atau dengan memasukkan kedalam sample spiliter.
2. Timbang benda uji sebanyak 500 gr, masukkan kedalam saringan no 200 kemudian cuci sampai air kelihatan bersih. Keringkan benda uji yang tertahan no.200 tersebut kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 110°C .
3. Susun satu set saringan sesuai dengan standard yang digunakan.
4. Timbang masing-masing saringan tersebut dan sebelumnya dibersihkan dengan menggunakan sikat.

5. Masukkan benda uji yang tertahan saringan no. 200 kedalam saringan yang telah disusun. Guncangkan dengan menggunakan sieve shaker (alat pengguncang) selama 15 menit. Diamkan selama 5 menit agar benda uji mengendap.
6. Timbang benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan.

4. Perhitungan

Penyelesaian rumus

Dalam melakukan percobaan akan diperoleh berat tanah kering, selain itu diperoleh juga berat tanah yang tertahan serta berat kumulatifnya.

Dari data tersebut maka dapat diperoleh rumus:

- $\% \text{ tertahan} = \frac{\text{Berat kumulatif tertahan}}{\text{Berat total}} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$

- $\% \text{ lolos} = 100\% - \text{persentase tertahan} \dots\dots\dots 3.4$

Koefisien Keseragaman $C_v = D_{60}/D_{10}$

D₆₀ = Diameter butiran yang lolos 60%

D₁₀ = Diameter butiran yang lolos 10%

Koefisien Konkavitas $C_c = (D^2_{30}) / (D_{10} \cdot D_{60})$

D₃₀ = Diameter butiran yang lolos 30%

Interpretasi

Pada grain size siatribution analysis, akan diplot semua hasil pada label menjadi grafik kurva distribusi ukuran butir. Dari kurva ini kita dapat:

- Menghitung koefisien keseragaman (Uniform Coffisient; Cu)
- Menghitung koefisien konkavitas (Concavity Coeffisient ;Cc)
- Menentukan gradasi untuk mendapatkan kekuatan tanah yang mendukung.

Adapun pedoman yang dipakai dalam percobaan ini :

- Batas ukuran butiran menurut ASTM terlihat di tabel III-2.

Tabel 3.2. Batas ukuran butiran menurut ASTM

Bolders	Tanah berbutir kasar			Tanah berbutir halus		
	Cobble	Gravel	Sand	Lana	Lempun	
			Coars e	Mediu m	Fin e	
Ukuran (mm)	7.5	4.75	2	0.4	0.075	0.005
No.saringan	3	4	10	40	200	

- Untuk membedakan antara tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus , kita memakai saringan no.200:
 - a) Tanah berbutir kasar adalah butiran yang tertahan saringan no.200 dan kandungan fraksinya > 50 %
 - b) Tanah berbutir halus adalah butiran yang lolos saringan no.200 dan kandungan fraksinya > 50 %

- Untuk menganalisa lebih lanjut , dapat membuat klasifikasi tanah menurut sistem AASTHO dan sistem UNIFIED.

6. Pengujian Hidrometer

A. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Timbangan.
2. Saringan no.200.
3. Oven.
4. Gelas silinder yang berukuran 1000 ml.
5. Gelas silinder yang berukuran 125 ml.
6. Karet penutup dengan diameter sama dengan gelas ukur
7. Stopwatch.
8. Bak air dengan temperature tetap
9. Alat ukur hydrometer

B. Bahan yang digunakan

1. Tanah yang lolos saringan no.200 sebanyak 50 gram.
2. Larutan calgon ialah larutan kimia yang berfungsi memisahkan butir-butiran tanah yang satu dengan yang lain.
3. Air suling.

7. Prosedur Pengujian

1. Ambil 50 gr tanah yang lewat saringan no. 200, oven selama 24 jam.
2. Siapkan bahan kimia yang dapat digunakan untuk mencegah butir-butir tanah untuk berflokulasi (bahan kimia yang bisa digunakan adalah larutan calgon). Larutan ini dapat dibuat dengan campuran 1000 ml air dengan gram calgon.
3. Ambil gelas ukur berukuran 1000 ml lalu isi dengan 10 ml larutan calgon, lalu masukkan kedalam tanah yang telah dioven. Tambahkan air sebanyak 125 ml, lalu biarkan larutan tersebut selama lebih kurang 8-12 jam.
4. tambahkan air suling kedalam gelas ukur sampai permukaan air menyentuh tanda yang menunjukkan 1000 ml.
5. Tutup gelas silinder dengan karet penutup, lalu kocok campuran tersebut dengan cara mebolak-balik silinder, lebih kurang 10 menit.
6. Letakkan gelas silinder pada bak yang mempunyai temperature tetap. Catat waktu tesnya lalu masukkan alat hydrometer kedalam gelas silinder secara perlahan-lahan.

8. Perhitungan

Analisa perhitungan

- Rumus penyelesaian

$$R_{cp} = R + \text{Temperatur Correction} + \text{Zero Correction}$$

$$R_{cl} = R + \text{Minescus Correction}$$

Dimana :

R_{cp} = Hasil pembacaan alat ukur hidrometer yang sudah dikoreksi.

R = Hasil pembacaan alat ukur hydrometer

- Untuk persentase butiran-butiran halus dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ Butiran halus} = \frac{\alpha \cdot R_{cp}}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana :

W_s = Berat kering contoh tanah

α = Koreksi untuk berat jenis dari butiran tanah

$$\alpha = \frac{G_s \times 1.65}{(G_s - 1) \times G_s} \quad \dots\dots\dots 3.6$$

- Rumus untuk mencari garis tengah butir-butir tanah adalah :

$$D = K \left[\frac{L}{t} \right]^{0.5} \quad \dots\dots\dots 3.7$$

Dimana :

K = Rasio kekentalan air yang ditentukan dengan menggunakan grafik

L = Panjang efektif yang ditentukan dengan menggunakan grafik yang diberikan pada gambar sesuai dengan harga R yang bersangkutan

t = Waktu pembacaan

Contoh tabel perhitungan :

Tabel 3.3. Perhitungan pengujian hidrometer.

Waktu (menit)	R	Rcp	% Butiran				D(mm)
			Halus	Rcl	L (cm)	A	
			$\frac{\alpha \cdot Rcp}{ws} \times 100\%$				$\frac{L(cm)}{t(menit)} \times A$
1	2	3	4	5	6	7	8

Kolom 2 : Adalah hasil pembacaan alat ukur hidrometer yang diambil pada waktu seperti yang tercantum pada kolom 1

Kolom 3 : Hasil pembacaan alat ukur hidrometer yang sudah dikoreksi (Rcp) untuk menentukan persentase dari butir-butir tanah halus $Rcp = R + Ft + Fz$, dimana :

Ft = Koreksi temperature

Fz = Koreksi bacaan nol (Zero Correction)

Kolom 4 : Kolom ini berisikan persentase dari butir-butir tanah yang halus

Dimana:

W_s = Berat kering contoh tanah:

α = Koreksi untuk berat jenis dari butiran tanah

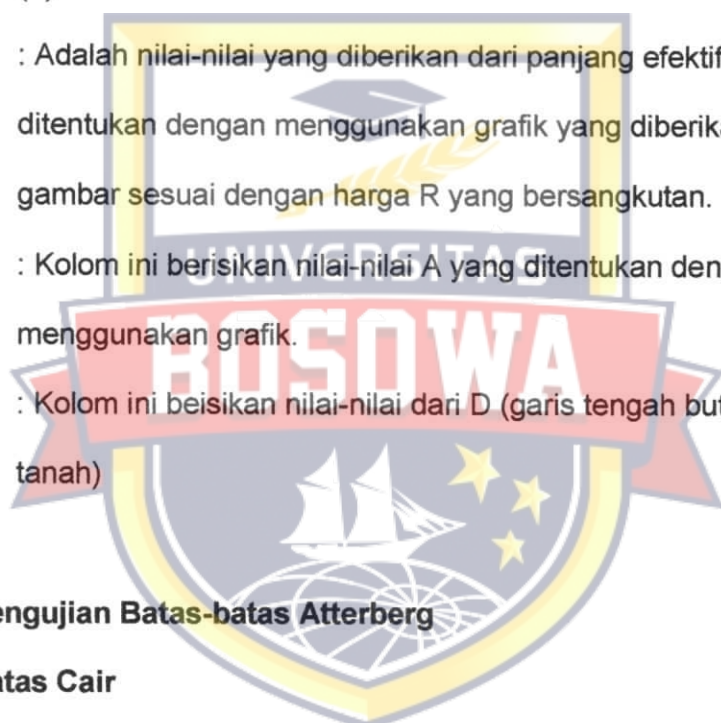
$$\alpha = \frac{G_s \times 1.65}{(G_s - 1) \times G_s} \dots\dots\dots 3.8$$

Kolom 5 : Kolom ini berisikan harga-harga R_{ei} ($R_{ei} = R + P_m$) yang akan digunakan untuk menentukan nilai dari panjang efektif (L)

Kolom 6 : Adalah nilai-nilai yang diberikan dari panjang efektif L yang ditentukan dengan menggunakan grafik yang diberikan pada gambar sesuai dengan harga R yang bersangkutan.

Kolom 7 : Kolom ini berisikan nilai-nilai A yang ditentukan dengan menggunakan grafik.

Kolom 8 : Kolom ini berisikan nilai-nilai dari D (garis tengah butir-butir tanah)



3.5.3 Pengujian Batas-batas Atterberg

A.1. Batas Cair

1. Peralatan

Peralataan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Saringan no. 40
2. Plat kaca
3. Spatula
4. Alat pengukur batas cair ciptaan Casagrande

5. Grooving tool
6. Container
7. Timbangan dengan ketelitian 0.01 mg.
8. Oven.

2. Bahan yang digunakan

1. Tanah lolos saringan no.40
2. Air suling

A.2. Prosedur Pengujian

1. Bersihkan alat batas cair
2. Atur tinggi jatuh mangkok dengan cara:
3. Kendurkan kedua baut penjepit lalu putar tuas pemutar sampai posisi mangkok mencapai tinggi maksimum. Putar baut belakang sehingga ujung tangkai atas pembuat alur tepat masuk diantara dasar mangkok dan alas.
4. Ambil contoh tanah secukupnya yang telah lolos saringan no.40 lalu letakkan diatas plat kaca.
5. Dengan menggunakan spatula, aduklah contoh tanah sambil ditambahkan air suling sedikit demi sedikit. Pengadukan harus dilakukan secara sempurna agar didapat campuran yang homogeny.
6. Setelah didapat campuran yang homogeny, ambil sedikit contoh tanah tersebut dengan spatula lalu masukkan kedalam mangkok batas cair. Ratakan permukaannya

sehingga sejajar dengan alas (mangkok dalam posisi menyentuh alas). Lapisan tanah yang paling tebal kira-kira 1 cm.

7. Buatlah alur dengan jalan membagi dua benda uji dalam mangkok tersebut. Gunakan grooving tool melalui garis tengah mangkok dengan posisi tegak lurus permukaan mangkok.

8. Putar tuas pemutar dengan kecepatan 2 putaran perdetik (dalam 1 detik mangkok jatuh 2 kali) sampai kedua sisi tanah bertemu sepanjang $1/2"$ (12,7 mm). Catat jumlah pukulan yang diperlukan .

9. Tentukan kadar air pada bagian yang bersinggungan .

10. Ulangi dengan kadar air yang berbeda (minimal 3 x kadar air).

A.3. Analisa Perhitungan

Rumus mencari Kadar air (ω)

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3.9$$

Rumus mencari batas cair

$$W_L = W_N \times \left[\frac{N}{25} \right]^{0.12} \quad \dots\dots\dots 3.10$$

Dimana:

W_L = Batas cair

W_N = Kadar air pada pukulan N

N = Pukulan yang mendekati pukulan ke-25

Interpretasi

- Untuk mengukur batas cair suatu tanah adalah apabila tanah berada dalam keadaan cair maka dalam alat Cassagrande , kedua bagian tanah dalam mangkok yang terpisah oleh alur selebar 2 mm, menutup sepanjang 12,7 mm oleh 25 pukulan.
- Semakin tinggi kadar airnya, maka akan semakin sedikit pula jumlah pukulan untuk menutup alur sepanjang 12.7 mm.

B.1. Batas Plastis

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Oven laboratorium
2. Saringan no.40
3. Plat kaca yang bersih
4. Spatula
5. Container
6. Timbangan dengan ketelitian 0.01 mm.

2. Bahan yang digunakan

1. Tanah lolos saringan no.40
2. Air suling

B.2. Prosedur Pengujian

1. Ambil contoh tanah yang lolos saringan no.40 kemudian campur dengan air sampai merata (homogen) dengan bantuan spatula.
2. Jika contoh tanah sudah tercampur/homogen, ambil sekitar 10 gram dan buat gulungan tanah diatas plat kaca dengan diameter 3 mm dan terputus-putus sepanjang 1 cm. Contoh tanah yang tepat pada diameter 3 mm mulai menunjukkan retak-retak, maka tanah tersebut menunjukkan dalam keadaan batas plastis.
3. Ambil Container/wadah timbang kosong, kemudian sampel dan container tersebut ditimbang untuk mencari kadar airnya.
4. Jika batangan tanah belum mencapai diameter 3 mm sudah menunjukkan retak maka tanah terlalu basah dan perlu dikeringkan.
5. Ulangi percobaan tersebut sebanyak 2 kali.

1. Jika salah satu batas cair atau batas plastis keadaan tanahnya tidak dapat diperoleh, laporkan bahwa Index Plastisitasnya = NP (non plastic).
2. Jika tanahnya banyak mengandung pasir, kerjakan batas plastis terlebih dahulu daripada batas cairnya, laporkan bahwa tanahnya non plastic (NP).
3. Jika ternyata batas plastis sama dengan atau lebih besar dari batas cairnya, juga laporkan bahwa Index Plastisitasnya non plastic (NP).
4. Tanah pada keadaan plastis, apabila tanah digulung menjadi retak-retak.
5. Pada diagram plastisitas casagrande, maka garis B (garis 50%) dan garis A (garis $IP = 0.73 (W_L - 20)$) dapat menjadi petunjuk. Jika kadar air suatu sample tanah terletak di sebelah kanan, maka tanah itu dengan plastisitas tinggi. Jika terletak sebelah kiri, tanah itu memiliki plastisitas rendah.
6. Jika tanah itu nilai IP berada diatas $IP = 0.73 (W_L - 20)$ digolongkan sebagai lempung organik. Jika berada di bawah, digolongkan sebagai lanau atau bahan organik.

C.1. Batas Susut

1. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Oven laboratorium
2. Saringan no. 40
3. Plat kaca
4. Spatula
5. Monel (Mangkuk Shrinkage Limit)
6. Timbangan
7. Mangkuk porselin
8. Mangkuk peluber
9. Plat kaca dengan tiga lubang.

2. Bahan yang digunakan

1. Tanah yang lolos saringan no.40
2. Air suling
3. Vaseline
4. Air Raksa

C.2. Prosedur Pengujian

1. Ambil contoh tanah yang sudah dikeringkan pada suhu ruangan dan lolos saringan no.40 secukupnya kedalam mangkok porselin.
2. Tambahkan air pada tanah tersebut dan campur hingga merata, perlu diperhatikan kadar air dari pasta lebih tinggi dari batas cair

- tanah yang bersangkutan untuk memastikan campuran tanah dan air telah benar-benar jenuh.
3. Lapisi mangkok shrinkage limit dengan vaseline setipis mungkin secara merata dan timbang beratnya (W_1).
 4. Isi mangkok dengan tanah yang telah dicampur air kira-kira sepertiga dari volume. Getarkan mangkok yang telah terisi tanah dengan cara mengetuk-ngetuk mangkok tersebut pada suatu permukaan yang keras (meja) secara perlahan-lahan agar tanah dapat mengisi secara merata sampai kepinggir-pinggiran mangkok dan tidak ada gelembung udara yang tertinggal atau terjebak.
 5. Ulangi sekali lagi sampai mangkok terisi penuh.
 6. Ratakan permukaan tanah dalam mangkok dengan spatula sesuai dengan tinggi mangkok. Bersihkan sisi-sisi luar dari mangkok tersebut. Timbang beratnya (w_2).
 7. Angin-anginkan tanah yang didalam mangkok tersebut selama kira-kira 6 jam, kemudian oven selama 24 jam.
 8. Keluarkan tanah yang telah dioven dari mangkok, kemudian isi mangkok tersebut dengan air raksa, ratakan air raksa dengan menggunakan plat kaca yang mempunyai 3 lubang. Kemudian timbang berat air raksa yang tertinggal dalam mangkok. (w_4)
 9. Tanah yang telah dikeluarkan dalam mangkok dimasukkan kedalam mangkok peluberan yang berisi air raksa. Ratakan atau tekan plat kaca kedalam mangkok tersebut hingga kelebihan air

raksa tumpah melalui lubang pada kaca tersebut. Hitung berat air raksa yang tumpah kedalam mangkok peluberan (w_5). Berat ini dipakai untuk menentukan volume tanah yang ditest.

C.3. Analisa perhitungan

Perhitungan :

. Rumus mencari kadar air (ω) :

$$a = \frac{W_a}{W_d} \times 100\% \dots\dots\dots 3.13$$

Dimana :

W_a = Berat air (gram)

$$W_a = W_2 - W_3$$

W_w = Berat tanah basah (gram).

$$W_w = W_2 - W_1$$

W_d = Berat tanah kering (gram).

$$W_d = W_3 - W_1$$

W_1 = Berat mould (gram)

W_2 = Berat tanah basah + mould (gram)

W_3 = Berat tanah kering + mould (gram).

. Rumus mencari batas susut (SL).

$$V_d = \frac{W_s - W_p}{\rho} \dots\dots\dots 3.14$$

$$V_w = \frac{W_4 - W_1}{\rho} \dots\dots\dots 3.15$$

Dimana :

W_4 = Berat air raksa yang pakai untuk mengisi mangkok
shringkage (gram).

W_5 = Berat air raksa yang dipindahkan oleh tanah yang dites
(gram).

W_p = Berat cawan petri (gram).

ρ = Berat jenis raksa (13,6 gr/cm³).

$$SL = \omega - \left(\frac{V_w - V_d}{W_d} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots 3.16$$

Dimana :

SL = Batas susut (%)

ω = Kadar air (%)

V_w = Volume tanah basah (cm³).

V_d = Volume tanah kering (cm³).

W_d = Berat tanah kering (gram).

Analisa Hasil

Percobaan sudah dianggap sesuai dengan prosedur yang dilakukan dan dengan data yang benar. Apabila air yang dikandung oleh suatu tanah menyusut secara perlahan-lahan dalam tanah, sehingga tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana perubahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume maka itulah batas susutnya. Perbedaan kadar air yang cukup jauh berbeda disebabkan pada saat percobaan benda uji dua mengalami kerusakan / pecah-pecah.

Interpretasi

- Batas susut dari suatu tanah adalah kadar air maksimum, dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan volume tanah.
- Angka susut suatu tanah adalah angka perbandingan antara “ persentase perubahan volume tanah terhadap volume kering “, dengan perubahan kadar air yang terjadi terhadap tanah (dalam tanah)”, dan berlaku pada keadaan diatas batas susut tanah.
- Susut volumetric suatu tanah adalah “ persentase pengurangan volume tanah terhadap terhadap volume kering tanah” apabila tanah pada suatu kadar air (dalam persen) tertentu berkurang menjadi pada batas tanah.
- Susut linear adalah “ persentase pengurangan satu dimensi (panjang) tanah terhadap ukuran semula “ apabila kadar air tanah berkurang menjadi pada batas susut tanah.

3.5.4 Pengujian Kadar air

1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

1. Cawan kadar air (tin boks)
2. Timbangan ketelitian 0.01 gr
3. Oven

4. Desicator

2. Prosedur Percobaan

1. Timbang tin box yang akan dipakai berikut tutupnya beri nomor / tanda.
2. Masukkan benda uji yang akan diperiksa ke dalam tin box tersebut lalu tutup.
3. Timbang tin box yang telah berisi benda uji tersebut.
4. Masukkan ke dalam oven yang suhunya telah diatur 110°C selama 24 jam sehingga beratnya konstan (tutup tin box dibuka).
5. Setelah dikeringkan dalam oven, tin box tersebut lalu dimasukkan ke dalam desicator agar cepat dingin.
6. Setelah dingin, timbang kembali tin box yang telah berisi tanah kering tersebut.

Catatan

- Berat benda uji dan neraca yang dipakai harus disesuaikan dengan butiran tanah maximum agar didapatkan hasil yang teliti. Seperti yang terlihat pada tabel III – 4 di bawah ini.

Tabel 3.4. Tingkat ketelitian

Ukuran butir maksimum	Berat benda uji minimum	Ketelitian
3/4"	1000 gr	1 gr
# 10	100 gr	0.1 gr
# 40	10 gr	0.01 gr

- Jika tidak tersedia oven pengering, pengeringan dapat dilakukan dengan cara :
 - a. Di goreng di atas kompor.
 - b. Di bakar langsung setelah disiram dengan spiritus (khusus untuk tanah yang tidak mengandung bahan yang mudah terbakar).
 - c. Menggunakan speedy moisture test.
- Masing- masing tin box dan tutupnya harus diberi tanda yang jelas agar tidak tertukar.
- Pada waktu menimbang, tutup tin box selalu terpasang.
- Untuk mendapatkan hasil yang dapat dipercaya , setiap sampel tanah diuji sebanyak 3 kali.

3. Analisa / Perhitungan

Penyelesaian Rumus

Pemeriksaan kadar air ini adalah suatu pengujian rutin dalam laboratorium untuk menentukan kadar air pada tanah.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots 3.17$$

Interpretasi

Untuk menghindari kesalahan dalam pemeriksaan, maka dalam pengambilan sampel harus didasarkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.5. Maximum size of soil particles dan Recommended minimum sample weight (g)

Maximum size of soil particles (95-100 % passes the given sieve)	Recommended minimum sample weight (g)
No.4(4.75 mm)	100
No.40(0.420 mm)	10 – 50
12.5 mm	300
50.0 mm	1000



3.5.5. Pengujian Pemadatan

Hubungan berat volume (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (ω), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + \omega} \dots\dots\dots 3.18$$

a. Alat yang digunakan

Selinder Mould yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

b. Prosedur Pengujian

Sampel tanah dimasukkan kedalam mould, kemudian dipadatkan dengan menumbuk dengan beratnya 2,5 Kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. tanah dipadatkan dengan 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan.

3.5.6. Pengujian Permeabilitas

Kadar air terkandung di dalam tanah lempung sangat mempengaruhi karakteristik mekanis jumlah air yang mengalir melalui tanah dalam satuan waktu (q) maka persamaan di atas menjadi :

$$q = vA = kiA = k \Delta h/L. A$$

a. Alat yang digunakan : Constant-head

b. Prosedur Pengujian

Tanah benda uji diletakkan dalam selinder , aliran air lewat tanah diatur melalui gelas ukur. Air yang masuk dalam gelas ukur kemudian dicatat berapa volume air yang keluar.

3.6. Pengolahan Data

Mengolah data dari hasil pengujian dengan menggunakan persamaan-persamaan :

1. Pengujian Spesific Gravity
2. Pengujian Butir (saringan + hidrometer)
3. Pengujian Batas-batas Atterberg
4. Analisis Kadar air
5. Pengujian Pematatan
6. Pengujian Permeabilitas

3.7. Teknik Pencampuran Tanah Lempung Lunak Dengan Abu Sekam Padi

Teknik pencampuran tanah lempung terhadap abu sekam padi, mengacu pada prosentase komposisi campuran. Komposisi campuran dengan menetapkan sampel sebanyak 4 sampel dengan masing-masing sampel diambil seberat 2.400 gr. Komposisi campuran dapat dilihat pada tabel III – 6 di bawah ini :

Tabel 3.6. Variasi campuran Abu Sekam Padi dengan Tanah Lempung

No	Variasi campuran (%)			
	A bu Sekam Padi		Tanah Lempung	
	%	Gram	%	Gram
1	0	0	100	2.400
2	2.5	60	97.5	2.340
3	7.5	180	92.5	2.220
4	12.5	300	87.5	2.100

3.7.1. Prosedur pencampuran tanah lempung dengan abu sekam padi.

Prosedur pencampuran antara tanah lempung dengan kondisi natural water content dengan abu sekam dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Tanah lempung dimasukkan ke dalam wadah sebanyak 2.400 gr.
2. Timbang abu sekam sesuai prosentase yang direncanakan.
3. Taburkan abu sekam pencampur ke dalam tanah sedikit demi sedikit sambil diaduk-aduk hingga campuran yang dihasilkan homogeny.
4. Setelah campuran abu sekam-tanah homogeny, selanjutnya dipadatkan dengan alat Standar Proctor hingga mencapai kepadatan yang sama dengan kepadatan tanah asli di lapangan.
5. Setelah campuran dalam mold Proctor mencapai kepadatan asli, selanjutnya dapat dilakukan pembuatan sampel sesuai dengan kebutuhan.

Campuran abu sekam-tanah yang sudah dipadatkan dengan alat Standar Proctor hingga mencapai kepadatan yang sama dengan tanah asli, dibentuk menjadi percontoh (sample) yang sesuai dengan kebutuhan pengujian. Adapun prosedur pembuatan dan pemeliharaan sample yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Percontoh untuk pengujian unconfined compression dicetak dengan Trimming Dvice, yang mana alat ini mempunyai diameter 3,5 cm.
2. Tanah yang sudah berada dalam trimming tersebut, permukaan penampangnya diratakan dengan baik, kemudian ditekan secara perlahan keluar tabung hingga bagian yang berada di luar tabung mencapai panjang 7,0 cm.
3. Setelah bagian yang berada di luar tabung sudah mencapai 7,0 cm, sampel dipotong dengan menggunakan kawat yang licin agar dipadatkan penampang potongan yang rata (smooth).
4. Selanjutnya sampel yang telah dicetak dirawat dengan sistem pemeliharaan khusus sampai umur campuran abu sekam-tanah mencapai umur pengujian yang telah ditentukan, masing-masing pada umur 1,3,5,7,10,14,18,21,25 dan 28 hari.

Prosedur pembuatan sampel semacam ini dilakukan untuk semua kandungan abu sekam yang telah ditentukan di atas, dimulai dengan kadar abu sekam 2,5%; 7,5% dan 12,5 dari berat isi tanah. Sedangkan untuk pengujian sifat-sifat fisis tanah sample tidak dicetak dengan trimming device, namun tetap dilakukan perawatan untuk menghindarkan perubahan sebelum pengujian.

3.7.2. Prosedur pemeraman pengujian

Adapun teknik pemeraman sample abu sekam-tanah dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

1. Campuran abu sekam-tanah yang sudah dipersiapkan sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengujian, dengan hati-hati ditempatkan dalam kantong plastik yang utuh (tidak bocor), kemudian ditutup rapat hingga tidak terdapat kebocoran.
2. Sample dalam plastic tertutup dimasukkan ke dalam bak air hingga tenggelam. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya penguapan, agar sample yang diuji dalam berbagai umur mempunyai kadar air yang relatif sama.

Pengujian sample campuran abu sekam dan tanah yang telah distabilisasi dapat dibagi 2 macam, yaitu pengujian strength (kekuatan) tanah dan pengujian karakteristik (sifat-sifat fisis). Pengujian kekuatan tanah hasil stabilisasi dilakukan dengan pengujian Unconfined Compression. Sedangkan pengujian karakteristik dilakukan dengan beberapa pengujian yang terdiri dari : Pengujian spesific gravity, pengujian butir (saringan + hydrometeri), pengujian batas-batas atterberg, pengujian kadar air, pengujian pemadatan, pengujian permeabilitas.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan Specific Gravity dengan Variasi Abu Sekam Padi

Uji specific gravity yang dilakukan dengan menggunakan variasi abu sekam padi dengan komposisi (0, 2.5, 7.5, dan 12.5%) menghasilkan Hasil uji Specific gravity dapat dilihat pada tabel IV - 1. di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil uji Specific gravity

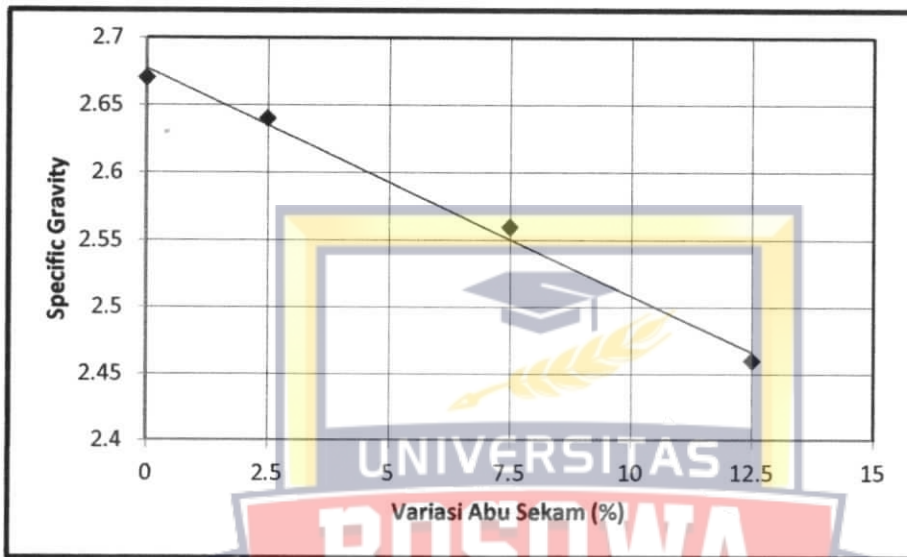
Variasi Abu Sekam Padi (%)	Specific Gravity
0	2,67
2.5	2,64
7.5	2,56
12.5	2,46

Sumber : Hasil pengujian

Dari tabel IV.1 diatas tersaji bahwa semakin tinggi variasi abu sekam padi maka specific gravity semakin menurun, dari hasil uji specific gravity tanah lempung dengan G_s paling rendah adalah sebesar 2,46 dengan kadar Abu Sekam Padi 12.5 % dan tertinggi 2,67 untuk tanah asli (campuran Abu Sekam Padi 0%).

Terlihat bahwa nilai specific gravity tergantung kadar campuran Abu Sekam Padi, semakin banyak campuran Abu Sekam Padi, specific gravity semakin mengecil. Ini disebabkan karena specific gravity Abu Sekam Padi yang digunakan sebagai bahan campuran lebih kecil dibandingkan tanah lempung. Hasil uji specific gravity untuk berbagai

campuran Abu Sekam Padi dapat dilihat dalam gambar 4.1. Dari gambar, terlihat grafik hubungan specific gravity dan penambahan abu Sekam Padi, memperlihatkan nilai specific gravity yang cenderung berkurang pada setiap penambahan Abu Sekam Padi.



Gambar : 4.1. Grafik hubungan Specific Gravity dengan Abu Sekam Padi

4.2. Hubungan Batas-batas Atterberg dengan variasi Abu Sekam Padi

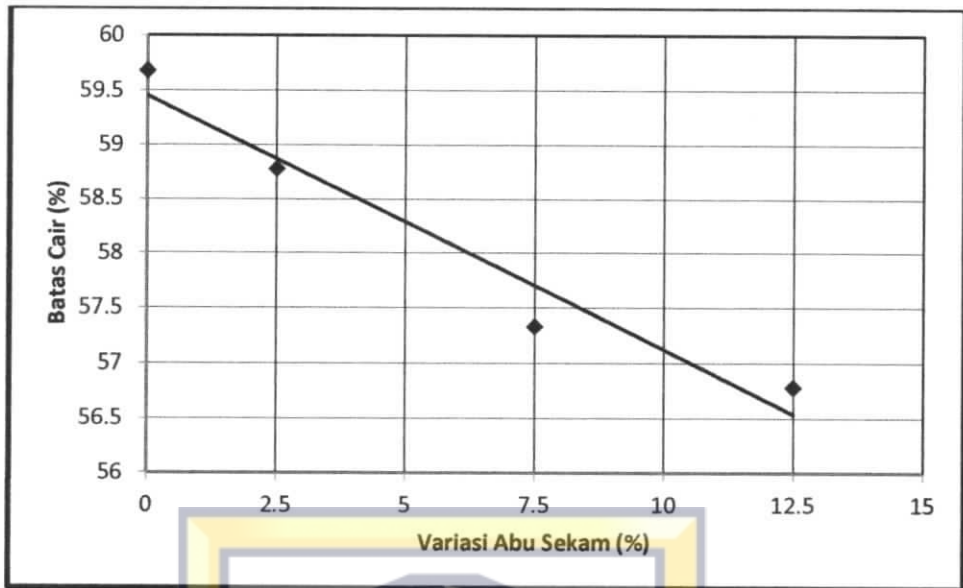
Hasil uji batas konsistensi dari berbagai variasi campuran abu sekam padi dapat dibaca pada tabel IV – 2.

Tabel 4.2. Hasil uji batas-batas Atterberg dan indeks Plastis.

Variasi Abu Sekam Padi (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastis (%)
0	59,68	27,11	8,62	32,57
2.5	58,78	29,13	9,81	29,65
7.5	57,33	31,08	10,45	26,25
12.5	56,78	31,87	12,12	24,91

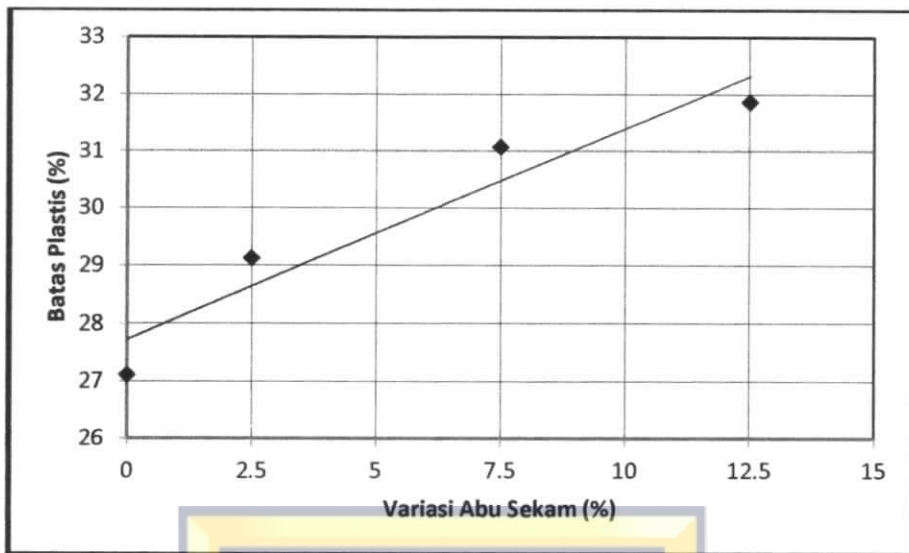
Sumber : Hasil Pengujian laboratorium

Pada Tanah lempung, uji batas-batas Atterberg sangat penting dilakukan terutama untuk mendapatkan batas cair, susut, plastis dan indeks plastisnya. Pengaruh pemberian Abu Sekam Padi terhadap uji batas-batas Atterberg tampak dalam grafik hubungan pemberian variasi campuran Abu Sekam Padi terhadap nilai batas konsistensi. Dalam gambar 4.2 sampai gambar 4.5, dapat dilihat perubahan nilai batas-batas Atterberg akibat penambahan campuran Abu Sekam Padi, semakin besar penambahan Abu Sekam Padi terhadap tanah lempung, semakin menurun batas cair dan indeks plastisnya. Dan sebaliknya menunjukkan pengaruh penambahan Abu Sekam Padi terhadap nilai batas plastis dan batas susut yang cenderung meningkat .



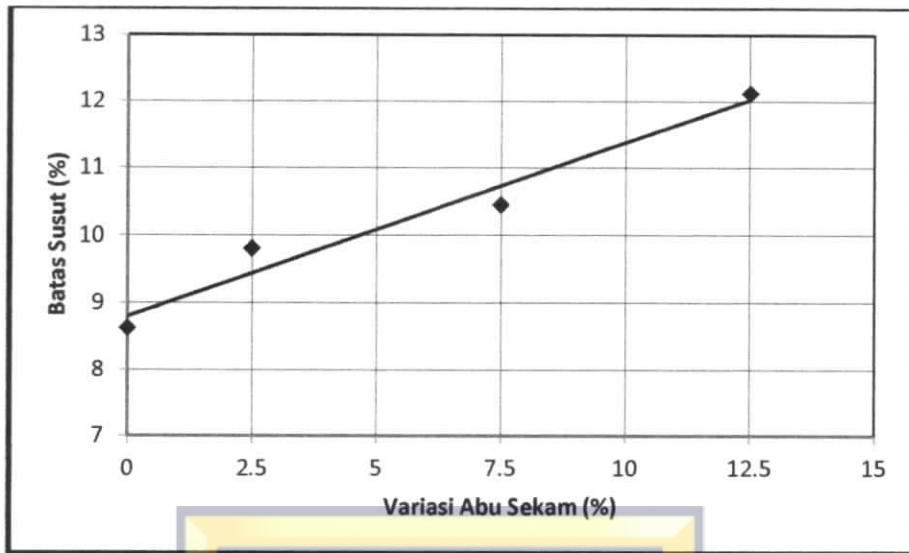
Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara nilai Batas Cair(LL) dengan variasi campuran Abu Sekam Padi

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi abu sekam padi memperlihatkan penurunan nilai batas cair, semakin besar penambahan abu sekam padi, batas cair semakin mengecil. Kecenderungan penurunan ini disebabkan tanah mengalami proses sementasi oleh abu sekam padi sehingga butiran-butiran tanah menjadi lebih besar dan mengakibatkan gaya tarik-menarik antara partikel menjadi turun.



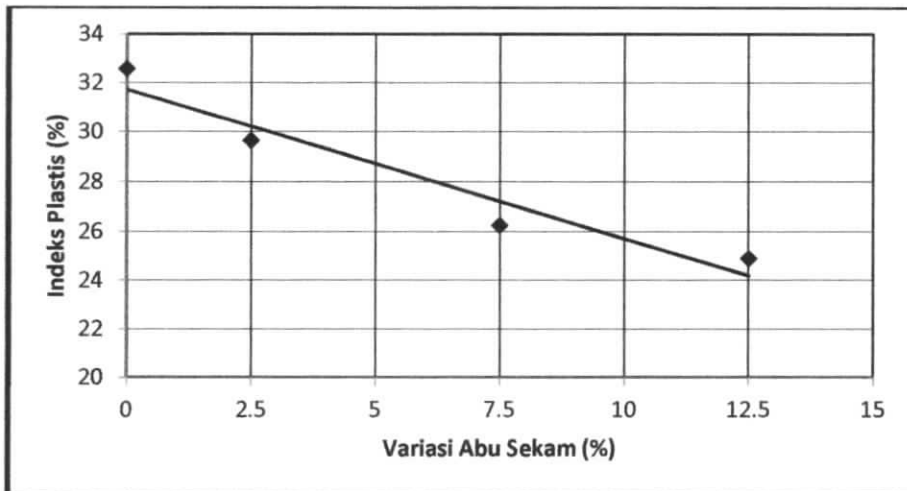
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Batas Plastis(PL) dengan variasi Abu Sekam Padi.

Hubungan antara nilai batas plastis(PL) dengan variasi campuran ditunjukkan pada gambar 4.3 memperlihatkan terjadinya peningkatan nilai batas plastis akibat penambahan bahan stabilisasi, hal ini menunjukkan terjadinya pertukaran ion-ion K^+ dan Na^+ oleh ion-ion Ca^{++} dan Mg^{++} yang terkandung dalam abu sekam padi yang menjadi penambahan bahan stabilisasi.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Batas Susut(SL) dengan variasi Abu Sekam Padi

Hubungan antara nilai batas susut(SL) dengan variasi campuran abu sekam padi ditunjukkan pada gambar 4.4 memperlihatkan terjadinya nilai batas susut yang meningkat akibat penambahan variasi abu sekam padi, dengan meningkatnya batas susut secara otomatis pengembangan tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi akan meningkat pula. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi yang ditinjau dari nilai batas susutnya kurang cocok diterapkan dilapangan.



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Indeks Plastis(PI) dengan variasi Abu Sekam padi.

Pada gambar 4.5 memperlihatkan bahwa dengan penambahan bahan stabilisasi maka nilai indeks plastis menurun. Hal ini terjadi seiring dengan meningkatnya batas plastis.

Penurunan nilai PI tersebut dapat mengurangi potensi pengembangan dan penyusutan dari tanah yang bersangkutan. Dengan ditambahnya bahan stabilisasi berupa abu sekam padi, slika dan alumina dari abu sekam padi bercampur dengan air membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit tembus air akan membuat campuran tanah abu sekam padi lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya.

Kadar air tanah asli relative pada kedudukan plastis dan cair dapat didefinisikan oleh **Indeks Cair(liquidity index), LI**, dan dinyatakan menurut persamaan :

$$LI = \frac{w_N - PL}{PI} \dots\dots\dots 4.1$$

Dengan w_N adalah kadar air . Dapat dilihat persamaan bahwa jika $w_N = LL$, maka $LI = 1$. Sedang, jika $w_N = PL$, maka $LI = 0$. Jadi, untuk lapisan tanah asli yang dalam kedudukan plastis, nilai $LL > w_N > PL$. Jika kadar air bertambah darib PL menuju LL , maka LI bertambah dari 0 sampai 1.

Lapisan tanah asli $w_N > LL$ akan mempunyai $LI > 1$. Tapi, jika w_N kurang darib PL , artinya kadar air asli kurang dari kadar air pada batas plastisnya , maka LI akan negatif

Jadi, Indeks Cair tanah yang dicampur dengan beberapa variasi abu sekam padi terlihat dalam tabel berikut.

Tabel 4.3. Hubungan Indeks cair dengan variasi abu sekam padi

Variasi ASP(%)	LI(%)
0	-0.112
2.5	-0.203
7.5	-0.310
12.5	-0.349

4.3 Hubungan Kepadatan (γ_d) dan Kadar air terhadap Penambahan Abu Sekam Padi

a. Hubungan Kepadatan (γ_d) terhadap Penambahan Abu Sekam Padi

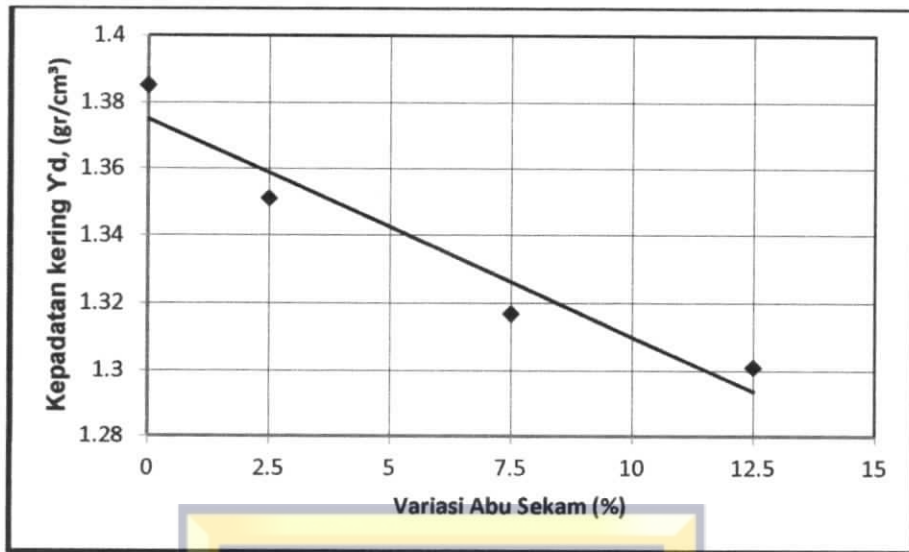
Hasil uji pemadatan tanah asli dari berbagai penambahan Abu Sekam Padi dapat dilihat pada Tabel IV - 4 sebagai berikut ini:

Tabel 4.4. Nilai Kepadatan (γ_d)

Variasi Abu Sekam Padi (%)	Kepadatan (γ_d) gr/cm ³
0	1,385
2,5	1,351
7,5	1,317
12,5	1,301

Sumber : Hasil Perhitungan

Menurut Hardiyatmo, 1992, sifat-sifat tanah lempung setelah dipadatkan akan bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah. Dalam Gambar 4.6 terlihat bahwa semakin besar persentase penambahan Abu Sekam Padi, berat volume kering maksimum (γ_d) semakin menurun.



Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kepadatan dan Variasi Abu Sekam Padi

Pada gambar 4.6 diatas menunjukkan penurunan kepadatan kering. Ini disebabkan karena semakin banyak persentase tambahan Abu Sekam Padi, semakin banyak pula Abu Sekam Padi yang menggantikan butiran halus, dengan demikian, specific gravity campuran lempung dan Abu Sekam Padi semakin berkurang, disebabkan specific gravity Abu Sekam Padi sebagai bahan tambahan lebih kecil dibanding specific gravity tanah lempung. Karena itu, berat volume kering yang diperoleh pada pemadatan tanah asli lebih besar dibandingkan berat volume kering tanah setelah ditambah Abu Sekam Padi. Dengan demikian berat massa tanah pada tingkat volume yang sama akan semakin kecil. Gejala ini membuktikan bahwa keberadaan abu sekam dalam tanah sangat mengurangi daya dukung tanah, karena dapat memperkecil confining pressure akibat adanya penurunan kepadatan kering tanah.

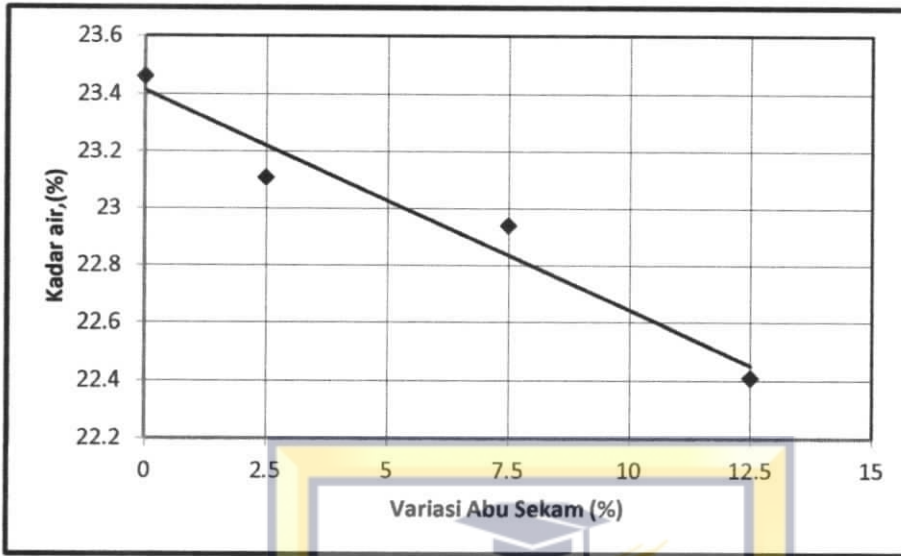
b. Hubungan Kadar air (%) terhadap Penambahan Abu Sekam Padi

Hasil uji pemadatan tanah asli dari berbagai penambahan Abu Sekam Padi dapat dilihat pada Tabel IV - 5 sebagai berikut ini:

Tabel 4.5. Nilai Kadar air(%)

Variasi Abu Sekam PAdi (%)	W _{Opt} (%)
0	23,46
2,5	23,11
7,5	22,94
12,5	22,41

Sejalan dengan perbaikan terhadap sifat porositas tanah, maka dengan penambahan kadar abu sekam ke dalam tanah lempung juga kelihatannya dapat memperkecil kadar air tanah. Dalam Gambar 4.7 terlihat bahwa semakin besar persentase penambahan Abu Sekam Padi, kadar air optimum (%) semakin menurun.



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kadar Air dan Variasi Abu Sekam Padi

Pada gambar 4.7 diatas menunjukkan penurunan kadar air pada tanah lempung setelah distabilisasi dengan abu sekam padi. Gejala yang terlihat dalam penelitian ini bahwa semakin besar kadar abu yang diberikan, semakin kecil kadar air dalam tanah yang distabilisasi. Gejala semacam ini juga disebabkan oleh adanya proses pengisian pori tanah oleh material abu sekam, yang mana daya absorpsi dari abu sekam cukup tinggi. Kondisi semacam ini akan dapat meningkatkan tingkat kekerasan (konsistensi) lapisan tanah, yang juga relevan dengan peningkatan kekuatan dalam lapisan tanah yang distabilisasi.

4.4. Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi Pada Permeabilitas Tanah

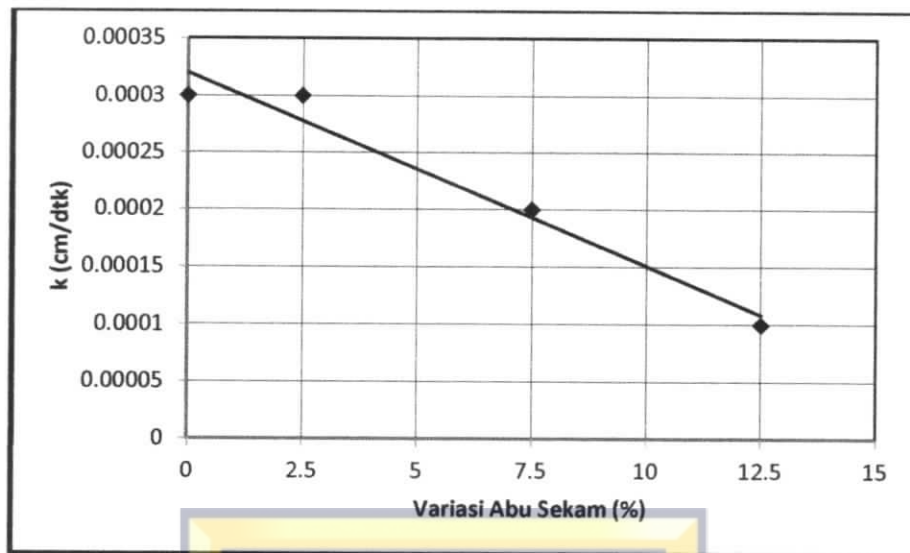
Permeabilitas bahan tanah biasanya dinyatakan dengan angka koefisien permeabilitas dalam cm/det. Hasil uji permeabilitas dapat dilihat pada Tabel IV – 6.

Tabel 4.6. Nilai koefisien permeabilitas tanah dalam berbagai variasi Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi (%)	Permeabilitas (cm/det)
0	0,0003
2,5	0,0003
7,5	0,0002
12,5	0,0001

Sumber : Hasil Pengujian laboratorium

Besarnya nilai koefisien permeabilitas (k) akan menentukan tingkat permeabilitas bahan tanah. Dari hasil uji pada tanah asli diperoleh nilai koefisien permeabilitas (k) sebesar 0,0003 cm/det, dan untuk campuran 12,5% Abu Sekam Padi terhadap berat kering tanah lempung adalah sebesar 0,0001 cm/det.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan koefisien permeabilitas dan Variasi Abu Sekam Padi

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa semakin banyak penambahan Abu Sekam Padi, semakin besar nilai k, dengan demikian semakin besar abu sekam padi, campuran tanah lempung dengan abu sekam padi semakin porus. Pada penelitian ini tanah lempung yang digunakan masih dapat dipakai sebagai bahan kedap air, untuk konstruksi jalan raya dengan penambahan abu sekam padi 12,5%, karena nilai koefisien permeabilitasnya masih lebih kecil dari 1×10^{-3} cm/detik.

4.5. Campuran Tanah Lempung dan Abu Sekam Padi yang Terbaik.

Bahan kedap air merupakan bahan mutlak diperlukan untuk pembangunan konstruksi jalan raya khususnya tanah timbunan. Dari hasil uji laboratorium yang dilakukan, dapat diketahui sifat fisis dan mekanis bahan tanah lempung dicampur abu sekam padi. Syarat utama bahan kedap air tergantung dari koefisien permeabilitasnya, tingkat deformasi rendah, mudah dalam pelaksanaan, dan tidak mengandung bahan organik (Sosrodarsono dan Takeda, 1977).

Bahan untuk kedap air urugan konstruksi jalan raya membutuhkan tanah dengan permeabilitas rendah, dan kuat daya dukung yang cukup. Sehingga perlu dipertimbangkan sifat fisis, dan mekanis tanah lempung dari beberapa penambahan abu sekam padi terhadap tanah kering. Dari hasil uji ditunjukkan bahwa bertambahnya prosentase abu sekam padi terhadap tanah lempung menyebabkan terjadinya peningkatan nilai batas konsistensi dengan nilai batas cair yang paling rendah pada campuran abu sekam padi 7.5%, dan Indeks Plastisnya terjadi penurunan pada campuran 7.5%. Dari hasil penelitian tanah lempung campur abu sekam padi terhadap sifat fisis, maka bahan kedap air yang paling rendah batas cair, dan indeks plastisnya adalah campuran abu sekam padi 7.5% terhadap berat kering.

Nilai koefisien permeabilitas yang didapatkan dari hasil uji karakteristik mekanis tanah lempung masih lebih kecil dari 1×10^{-3} cm/detik pada semua campuran abu sekam padi.

Memperhatikan syarat nilai koefisien permeabilitas yang diizinkan, indeks plastis menurun, maka campuran bahan kedap air (tanah lempung campur abu sekam padi) untuk urugan tanah konstruksi jalan raya adalah campuran tanah lempung dengan abu sekam padi yang berkisar antara 7.5% sampai dengan 12.5%.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dilaboratorium, maka kami menarik beberapa kesimpulan tentang perilaku sampel tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi sebagai berikut :

1. Semakin besar kadar abu sekam padi yang dicampurkan pada tanah lempung, akan mengakibatkan menurunnya specific gravity. Ini disebabkan karena specific gravity abu sekam padi yang digunakan sebagai bahan campuran lebih kecil dibandingkan tanah lempung.
2. Semakin besar kadar abu sekam padi yang dicampurkan pada tanah lempung, akan mengakibatkan menurunnya Batas Cair (LL) dan Indeks Plastis (PI), dan sebaliknya mengakibatkan meningkatnya Batas Plastis (PL) dan Batas Susut (SL). Menurunnya batas cair dan indeks plastis disebabkan tanah mengalami proses sementasi oleh abu sekam padi sehingga butiran-butiran tanah menjadi lebih besar dan mengakibatkan gaya tarik-menarik antara partikel menjadi turun. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit tembus air akan membuat campuran tanah abu sekam padi lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya.

3. Semakin besar kadar abu sekam padi yang dicampurkan pada tanah lempung, akan mengakibatkan menurunnya kepadatan kering tanah; namun penambahan ini akan berakibat pula yaitu semakin memperkecil angka pori dan kadar air tanah. Ketiga dampak ini memberikan kontribusi negatif terhadap perbaikan karakteristik tanah, dan merupakan gejala yang menyebabkan menurunnya daya dukung tanah yang distabilisasi.
4. Semakin besar kadar abu sekam padi yang dicampurkan pada tanah lempung, semakin memperkecil koefisien permeabilitas diakibatkan oleh semakin kecilnya angka pori.

5.2. Saran

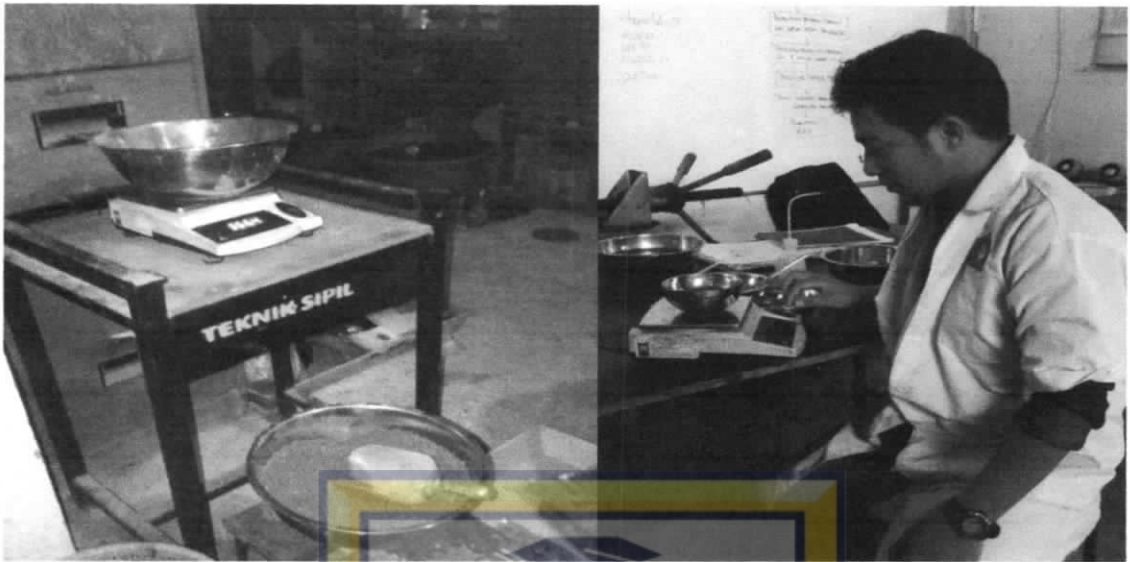
Dari rangkaian analisis dan pembahasan terhadap hasil pengujian laboratorium yang dilakukan, ada beberapa hal yang perlu disarankan antara lain:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk menangani masalah pada tanah lempung.
2. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan abu sekam padi sebagai bahan stabilisator tidak begitu dianjurkan.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang berorientasi pada penerapan hasil penelitian laboratorium ini menjadi penelitian di lapangan, terutama pada lapisan perkerasan jalan.

4. Perlu ada penelitian tentang penggunaan material – material bahan campuran lain yang dikombinasikan dengan tanah lempung dengan abu sekam padi yang lebih variatif.



DOKUMENTASI PENELITIAN



MENIMBANG BAHAN DAN BENDA UJI PENELITIAN



PENGUJIAN BERAT JENIS



PENGUJIAN ANALISA SARINGAN

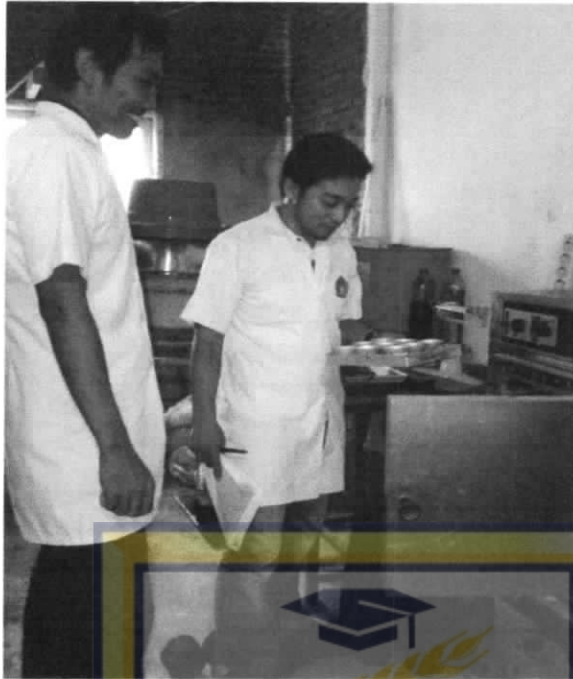
UNIVERSITAS

BOSOWA



PENGUJIAN KOMPAKSI



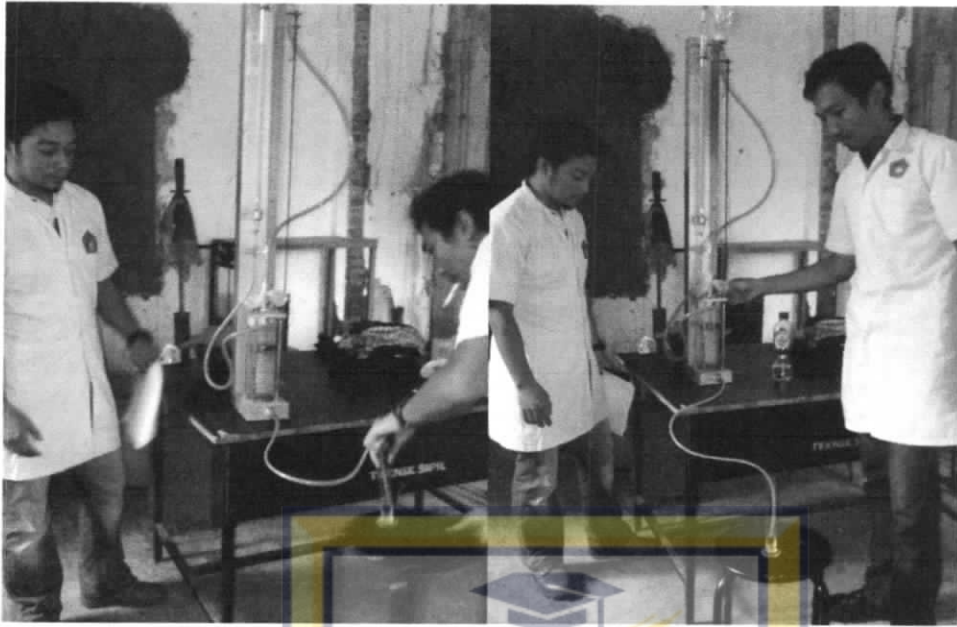


PROSES PENGUJIAN
UNIVERSITAS

BOSOWA



PENGUJIAN BATAS-BATAS ATTERBERG



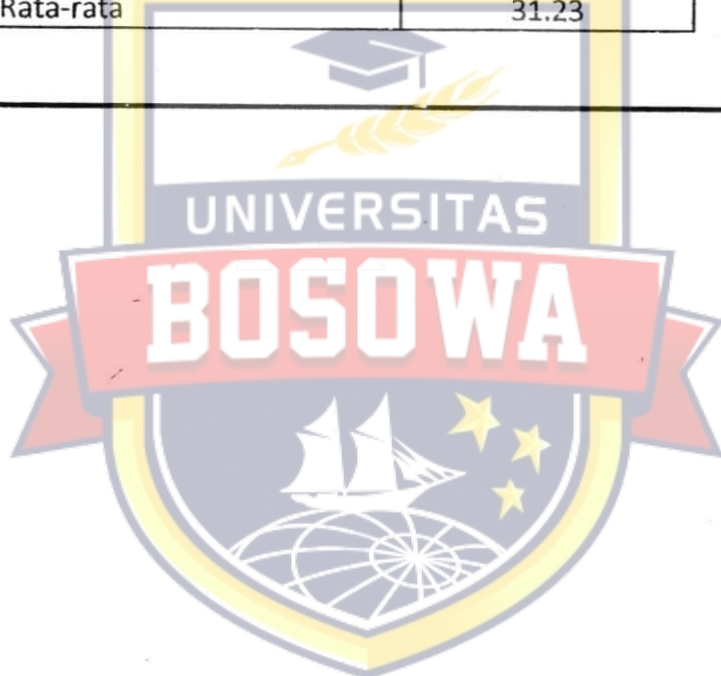
PENGUJIAN PERMEABILITAS



PEMERIKSAAN KADAR AIR

PROYEK	:	PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI	:	LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN	:	ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH	:	SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL	:	09 januari 2015

No. Container	I	II
Berat Tanah Basah & Container (W1)	27.9	25.8
Berat Tanah Kering & Container (W2)	24.2	22.5
Berat Container (W3)	12.5	11.8
Berat Air ($W_w = W_1 - W_2$)	3.7	3.3
Berat Tanah Kering ($W_d = W_2 - W_3$)	11.7	10.7
Kadar Air ($W_w/W_d * 100\%$)	31.62	30.84
Kadar Air Rata-rata	31.23	




Makassar, 09 Januari 2015

Mengetahui

Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh

Asisten Laboratorium Mekanika Tanah



Eka Yuniarto, ST. MT.
NIDN. 0908066803



Ir. Hasrullah

TES BERAT JENIS / SPESIFIC GRAVITY TES

PROYEK	: PENENLITIAN TUGAS AKHIR S1
LOKASI	: LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN	: ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH	: SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL	: 15 Januari 2015
MATERIAL	: TANAH ASLI

Sampel	-	I	II
Berat Piknometer, (W1)	gram	33.4	33.4
Berat Piknometer + Air, (W2)	gram	131.6	131.6
Berat Piknometer + Air + Tanah, (W3)	gram	162.9	163.1
Berat Tanah Kering, (Ws)	gram	50	50
Temperatur	°C	28	28
Faktor Koreksi, $\alpha = \gamma_T/\gamma_{20}$		0.99267	0.99267
Berat Jenis (Gs)		2.65	2.68
Berat Jenis rata-rata		2.67	



Makassar, 15 januari 2015

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh

Asisten Laboratorium Mekanika Tanah

Eka Yuniarto, ST. MT.

NIDN.908066803

Ir. Hasrullah

TES BERAT JENIS / SPESIFIC GRAVITY TES (2.5%)

PROYEK : PENENLITIAN TUGAS AKHIR S1
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 15 Januari 2015
MATERIAL : TANAH ASLI + ABU SEKAM 2,5%

Sampel	-	I	II
Berat Piknometer, (W1)	gram	33.1	33.1
Berat Piknometer + Air, (W2)	gram	131.6	131.6
Berat Piknometer + Air + Tanah, (W3)	gram	162.7	162.9
Berat Tanah Kering, (Ws)	gram	50	50
Temperatur	°C	28	28
Faktor Koreksi, $\alpha = \gamma_T/\gamma_{20}$		0.99267	0.99267
Berat Jenis (Gs)		2.63	2.65
Berat Jenis rata-rata		2.64	




Makassar, 15 Januari 2015



Mengetahui,
Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium Mekanika Tanah


Eka Yuniarto, ST. MT.
NIDN:908066803


Ir. Hasrullah

TES BERAT JENIS / SPESIFIC GRAVITY TES

PROYEK : PENENLITIAN TUGAS AKHIR S1
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 15 Januari 2015
MATERIAL : TANAH ASLI + ABU SEKAM 7,5%

Sampel	-	I	II
Berat Pikhometer, (W1)	gram	33.1	33.2
Berat Pikhometer + Air, (W2)	gram	131.6	131.6
Berat Pikhometer + Air + Tanah, (W3)	gram	162.1	162.3
Berat Tanah Kering, (Ws)	gram	50	50
Temperatur	°C	28	28
Faktor Koreksi, $\alpha = \gamma_T / \gamma_{20}$		0.99267	0.99267
Berat Jenis (Gs)		2.55	2.57
Berat Jenis rata-rata		2.56	



Makassar, 15 januari 2015

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh

Asisten Laboratorium Mekanika Tanah

Eka Yuniarto, ST. MT.

NIDN.908066803

Ir. Hasrullah

TES BERAT JENIS / SPESIFIC GRAVITY TES

PROYEK : PENENLITIAN TUGAS AKHIR S1
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 15 Januari 2015
MATERIAL : TANAH ASLI + ABU SEKAM 12,5%

Sampel	-	I	II
Berat Piknometer, (W1)	gram	33.1	33.1
Berat Piknometer + Air, (W2)	gram	131.7	131.7
Berat Piknometer + Air + Tanah, (W3)	gram	161.6	161.5
Berat Tanah Kering, (Ws)	gram	50	50
Temperatur	°C	28	28
Faktor Koreksi, $\alpha = \gamma T / \gamma 20$		0.99267	0.99267
Berat Jenis (Gs)		2.47	2.46
Berat Jenis rata-rata		2.46	



Makassar, 15 januari 2015

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh

Asisten Laboratorium Mekanika Tanah

Eka Yuniarto, ST. MT.

NIDN.908066803

Ir. Hasrullah

BATAS PLASTIS (PLASTIS LIMIT)

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJ : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 16 januari 2015


No Test	-	1	2
No. Container	-	A1	A2
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	14.5	17.2
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	13.2	15.4
Berat Container (W3)	Gram	8.3	8.9
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	1.3	1.8
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	4.9	6.5
Kadar Air, (Ww/Wd x 100%)	%	26.53	27.69
Kadar Air Rata-rata	%	27.11	

Indeks Plastisitas $PI = LL - PL$
 $= 59.68 - 27.11 = 32.57 \%$



Makassar, 16 januari 2015

Mengetahui
Kepala Laboratorium


Yuniarto, ST.MT.
IDN. 0908066803

Diperiksa
Asisten Laboratorium


Ir. Hasrullah

BATAS PLASTIS (PLASTIS LIMIT)(2.5%)

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 16 januari 2015

No Test	-	1	2
No. Container	-	A1	A2
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	14.6	17.2
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	13.2	15.3
Berat Container (W3)	Gram	8.3	8.9
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	1.4	1.9
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	4.9	6.4
Kadar Air, (Ww/Wd x 100%)	%	28.57	29.69
Kadar Air Rata-rata	%	29.13	

Indeks Plastisitas PI = LL - PL

$$= 58.78 - 29.13 = 29.65 \%$$



Makassar, 16 januari 2015

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.
NIDN. 0908066803

Diperiksa
Asisten Laboratorium

Ir. Hasrullah

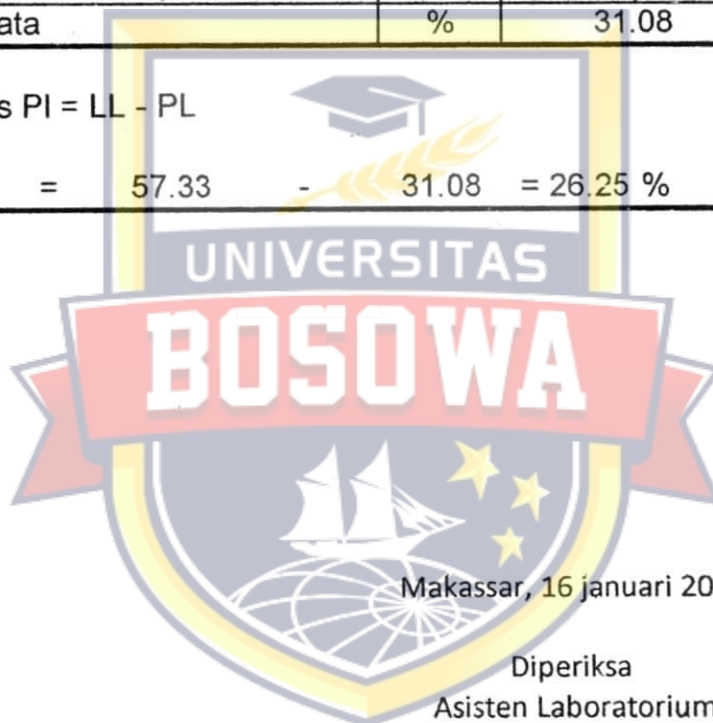
BATAS PLASTIS (PLASTIS LIMIT) (7.5%)

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL : 16 januari 2015

No Test	-	1	2
No. Container	-	A1	A2
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	14.9	17.1
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	13.3	15.2
Berat Container (W3)	Gram	8.3	8.9
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	1.6	1.9
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	5	6.3
Kadar Air, (Ww/Wd x 100%)	%	32.00	30.16
Kadar Air Rata-rata	%	31.08	

Indeks Plastisitas PI = LL - PL

$$= 57.33 - 31.08 = 26.25 \%$$



Makassar, 16 januari 2015

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa
Asisten Laboratorium


Eka Yuniarto, ST.MT.
NIDN. 0908066803


Ir. Hasrullah

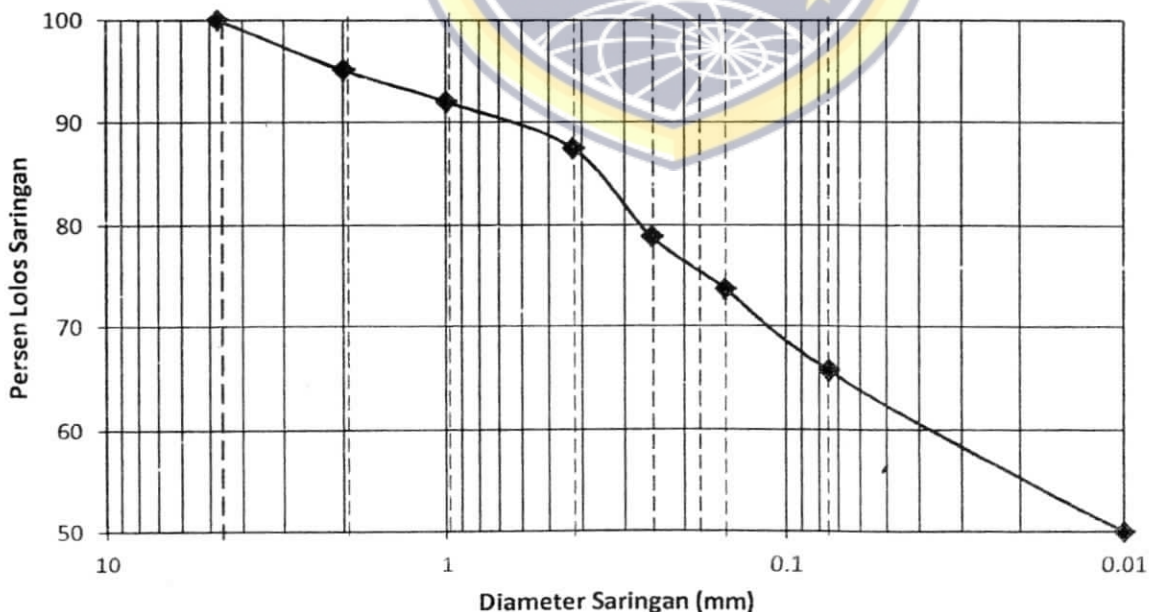
Hasil Perhitungan Analisa Saringan

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LOKASI : LABORATORIUM UNIVERSITAS 45
 METODE PENGUJIAN : ASTM D1140-54, D421-58 & D422-63
 DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 10 januari 2015

	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	171.6
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	328.40

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0	0	0	100
10	2.00	24.60	24.6	4.92	95.08
18	1	15.40	40	8.00	92.00
40	0.43	22.70	62.70	12.54	87.46
60	0.25	43.10	105.8	21.16	78.84
100	0.15	25.90	131.7	26.34	73.66
200	0.075	39.90	171.60	34.32	65.68
Pan	0.01	328.40	500.00	100	50

GRAFIK ANALISA SARINGAN



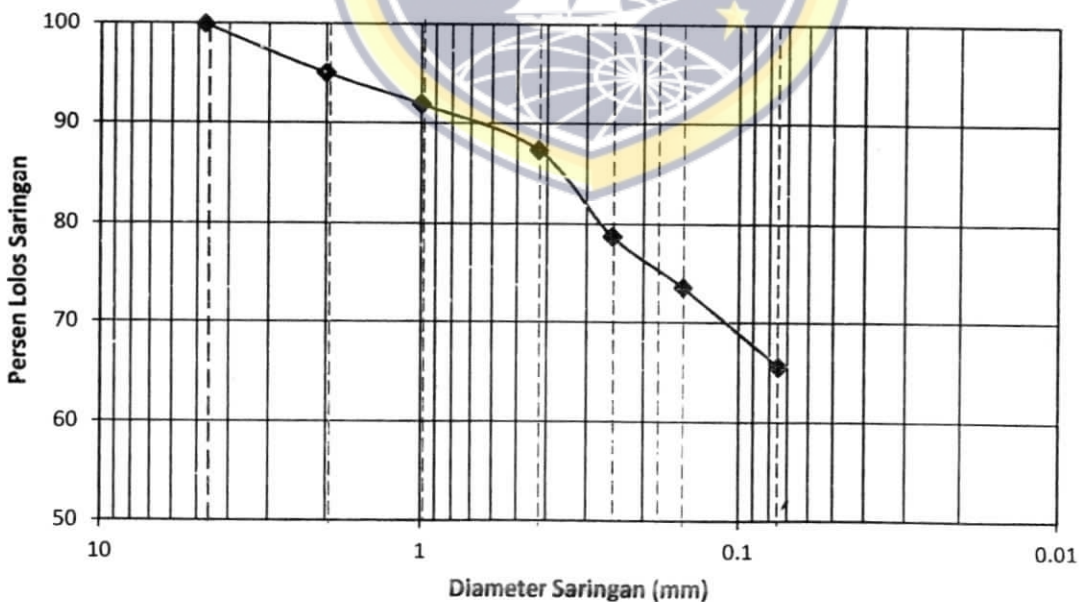
Hasil Perhitungan Analisa Saringan

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LOKASI : LABORATORIUM UNIVERSITAS 45
 METODE PENGUJIAN : ASTM D1140-54, D421-58 & D422-63
 DIUJI OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL :

	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	171.6
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	328.40

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Komulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0	0	0	100
10	2.00	24.6	24.6	4.92	95.08
18	1	15.4	40	8.00	92.00
40	0.43	22.70	62.70	12.54	87.46
60	0.25	43.1	105.8	21.16	78.84
100	0.15	25.90	131.7	26.34	73.66
200	0.075	39.9	171.60	34.32	65.68
Pan	-	328.40	500.00	100	0

GRAFIK ANALISA SARINGAN



Lampiran D

Topik	: Penelitian Tugas Akhir
Lokasi	: Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil FT Univ "45"
Tanggal Percobaan	: 14 Januari 2015
Nama	: SUPIRMAN / SUBRATA
Material	: TANAH ASLI

TABEL HASIL PERHITUNGAN HIDROMETER

Densitas Jenis	: 2.67	gram/cm ³
Zero Correction	: 1	
Meniscus Correction	: 1	
Temperature Correction	: 0.988	
Correction Factor	= 1.65 Gs/[(Gs-1)xGs]}	
Mass of Soil, W _s	: 50	gram

$R = R + \text{Temperatur Correction} + \text{Zero Correction}$


$R = R + \text{Meniscus Correction}$

Waktu (menit)	T (°C)	R	R _{cp}	% Butiran Halus $\alpha \cdot R_{cp} / W_s \times 100$ %	R _{cl}	L (cm)	K	D=K (L/t) ^{0.5}
0.25	28	30	33.50	66.20	31	11.5	0.01105	0.074931
0.5	28	29	32.50	64.22	30	11.9	0.01105	0.053898
1	28	27	30.50	60.27	28	12.1	0.01105	0.038431
2	28	23	26.50	52.37	24	12.5	0.01105	0.027620
4	28	20	23.50	46.44	21	12.7	0.01105	0.019686
8	28	19	22.50	44.46	20	12.9	0.01105	0.014029
15	28	19	22.50	44.46	20	13.0	0.01105	0.010285
30	28	18	21.50	42.49	19	13.2	0.01105	0.007328
60	28	18	21.50	42.49	19	13.3	0.01105	0.005202
90	28	17	20.50	40.51	18	13.5	0.01105	0.004279
120	28	17	20.50	40.51	18	13.5	0.01105	0.003706
240	28	15	18.50	36.56	16	13.7	0.01105	0.002640
440	28	12	15.50	30.63	13	14.1	0.01105	0.001093

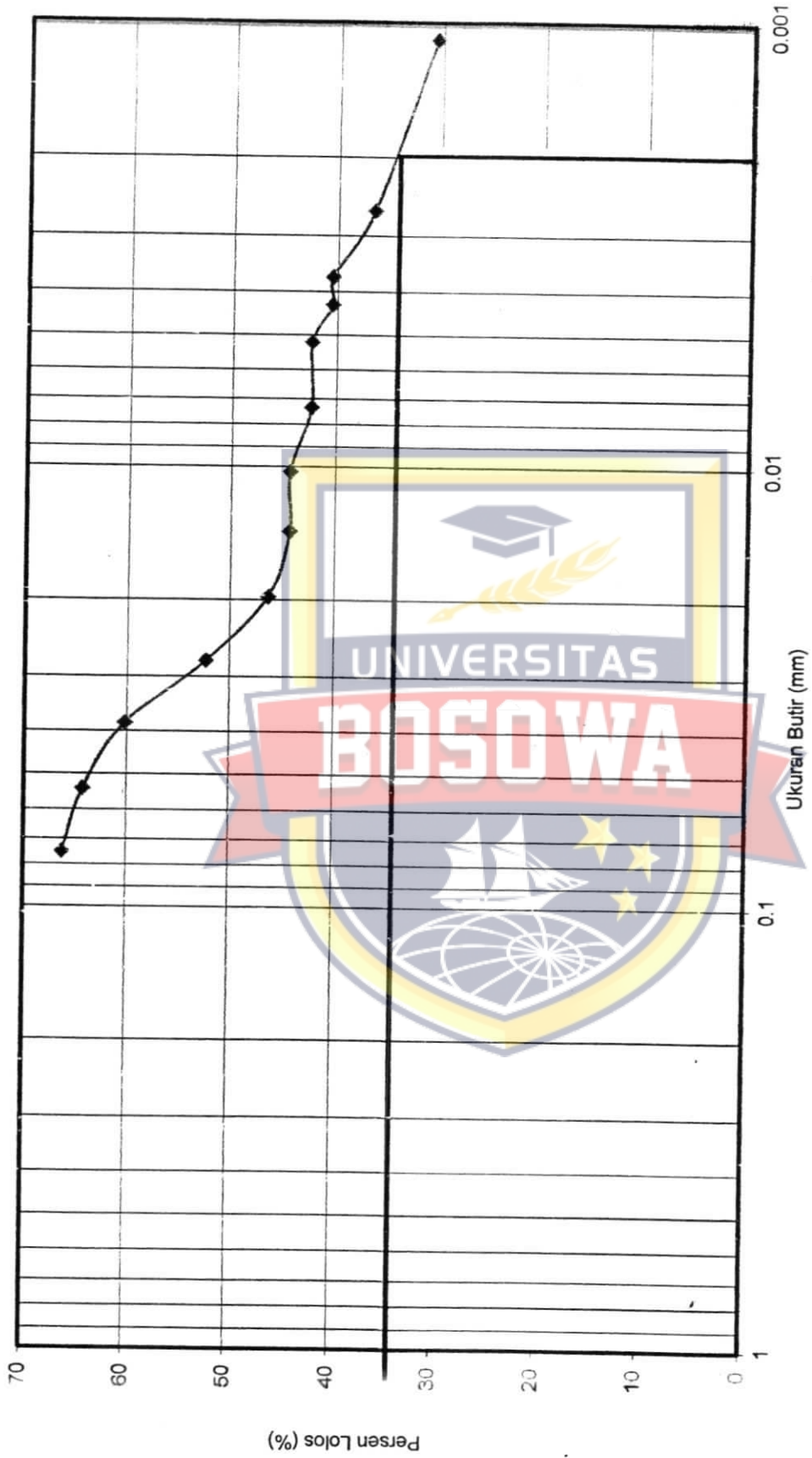
Makassar, 14 Januari 2015

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Mekanika Tanah

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium Mekanika Tanah


Eka Yumirto, ST. MT.
NIDN. 0908066803


Hasrullah, ST.



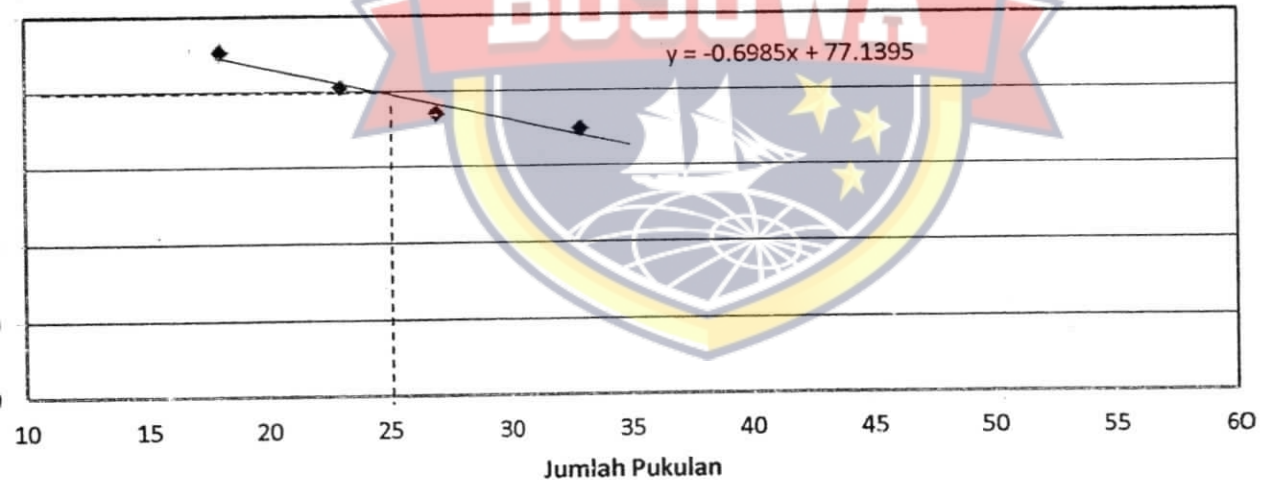
Grafik Pembagian Butir Analisa Hidrometer

BATAS CAIR (LIQUID LIMITS, LL)(TANAH ASLI)

TEMA	: PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI	: LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
STANDAR PENGUJIAN	: ASTM D 3080 -72
DILAKUKAN OLEH	: SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL	: 16 januari 2015

Uraian		A	B	C	D
Jumlah Pukulan	-	33	27	23	18
Wt Container	-	1	2	3	4
Wt Tanah Basah + Container (W1)	Gram	41.1	35.6	40.3	42.6
Wt Tanah Kering + Container (W2)	Gram	29.5	25.9	28.3	29.2
Wt Container (W3)	Gram	8.40	8.9	8.5	8.70
Wt Air (Ww=W1-W2)	Gram	11.6	9.70	12.00	13.40
Wt Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	21.1	17	19.8	20.50
Batas Cair, $Ww/Wd \times 100\%$	%	54.98	57.06	60.61	65.37

Kurva Aliran untuk Penentuan Batas Cair



Batas Cair (LL) didapat pada ketukan 25

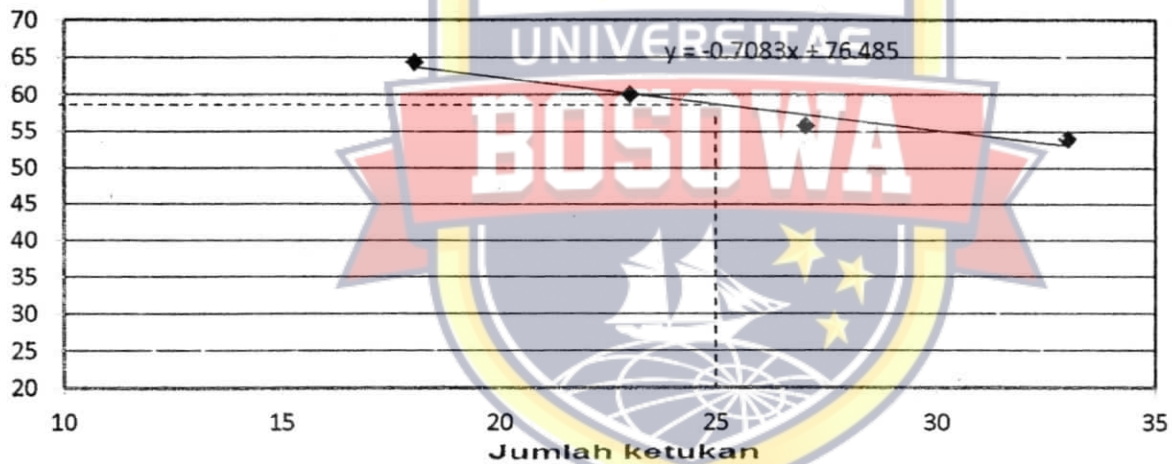
$$LL = -0.6985 (25) + 77.1395 = 59.68 \%$$

BATAS CAIR (LIQUID LIMITS, LL)(2.5%)

TEMA : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LABORATORIUM : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
 METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
 DILAKUKAN OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 16 januari 2015

Test	-	A	B	C	D
Jumlah Pukulan	-	33	27	23	18
Container	-	1	2	3	4
Bobot Tanah Basah + Container (W1)	Gram	40.9	35.4	40.2	42.4
Bobot Tanah Kering + Container (W2)	Gram	29.5	25.9	28.3	29.2
Bobot Container (W3)	Gram	8.40	8.9	8.5	8.70
Bobot Air (Ww=W1-W2)	Gram	11.4	9.50	11.90	13.20
Bobot Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	21.1	17	19.8	20.50
Persentase Air, Ww/Wd x 100%	%	54.03	55.88	60.10	64.39

Kurva Aliran untuk Penentuan Batas Cair




Cair (LL) didapat pada ketukan 25
 $LL = -0.7083 (25) + 76.485 = 58.78 \%$

Makassar, 16 januari 2015

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa
Asisten Laboratorium


Eka Yuniarto, ST.MT.
 NIDN. 0908066803

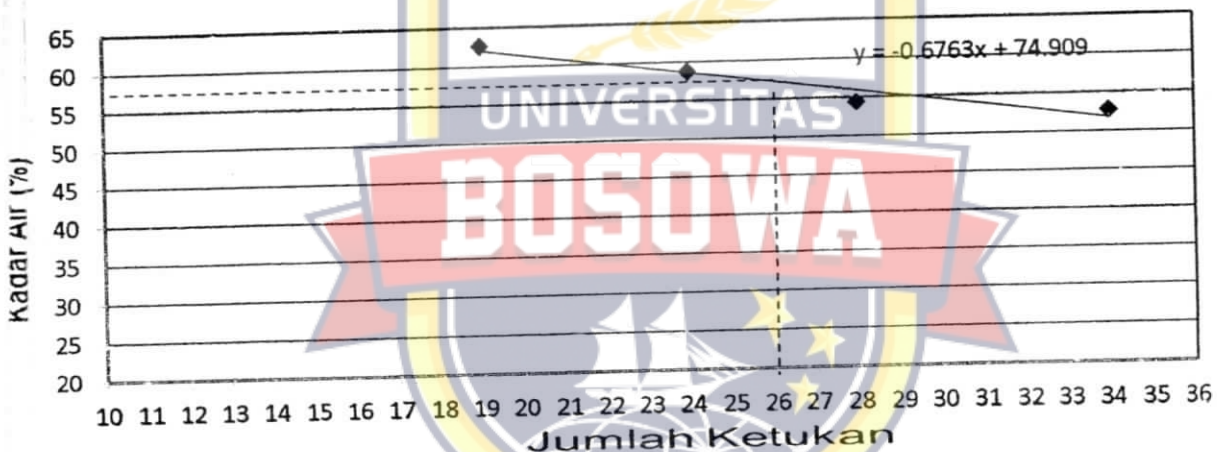

Ir. Hasrullah

BATAS CAIR (LIQUID LIMITS, LL) (7.5%)

NAMA : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 KASUS : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
 METODE PENGUJIAN : ASTM D 3080 -72
 DILAKUKAN OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 16 januari 2015

Test		A	B	C	D
Tanah Pukulan	-	34	28	24	19
Container	-	1	2	3	4
berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	40.8	35.3	40.1	42.2
berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	29.6	26.0	28.4	29.3
berat Container (W3)	Gram	8.40	8.9	8.5	8.70
berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	11.2	9.30	11.70	12.90
berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	21.2	17.1	19.9	20.60
Kadar Air, Ww/Wd x 100%	%	52.83	54.39	58.79	62.62

Kurva Aliran untuk Penentuan Batas Cair



Batas Cair (LL) didapat pada ketukan 26
 li, $LL = -0.6763(26) + 74.909 = 57.33\%$

Mengetahui
 Kepala Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.
 NIDN. 0908066803

Makassar, 16 Januari 2015
 Diperiksa
 Asisten Laboratorium

Ir. Hasrullah

KOMPAKSI TANAH ASLI

PROYEK PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LOKASI LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
 MEOTE TEST ASTM D 3080 -72
 DITEST OLEH SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 17 Januari 2015

Tanah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
Air Mula-mula	%	12.53	12.53	12.53	12.53	12.53
Pembahasan Air	ml	50	100	150	200	250
Air Akhir	%	14.13	17.89	21.60	25.79	30.16

ISI BASAH

Mould	-	1	2	3	4	5
Mould	gram	1613	1821	1754	1677	1613
Tanah Basah + Mould	gram	3013	3289	3317	3296	3256
Tanah Basah, Wwet	gram	1400	1468	1563	1619	1643
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
Volume Basah = W wet/ V mould	gr/cm ³	1.4777	1.5804	1.6826	1.7429	1.7342

AR AIR

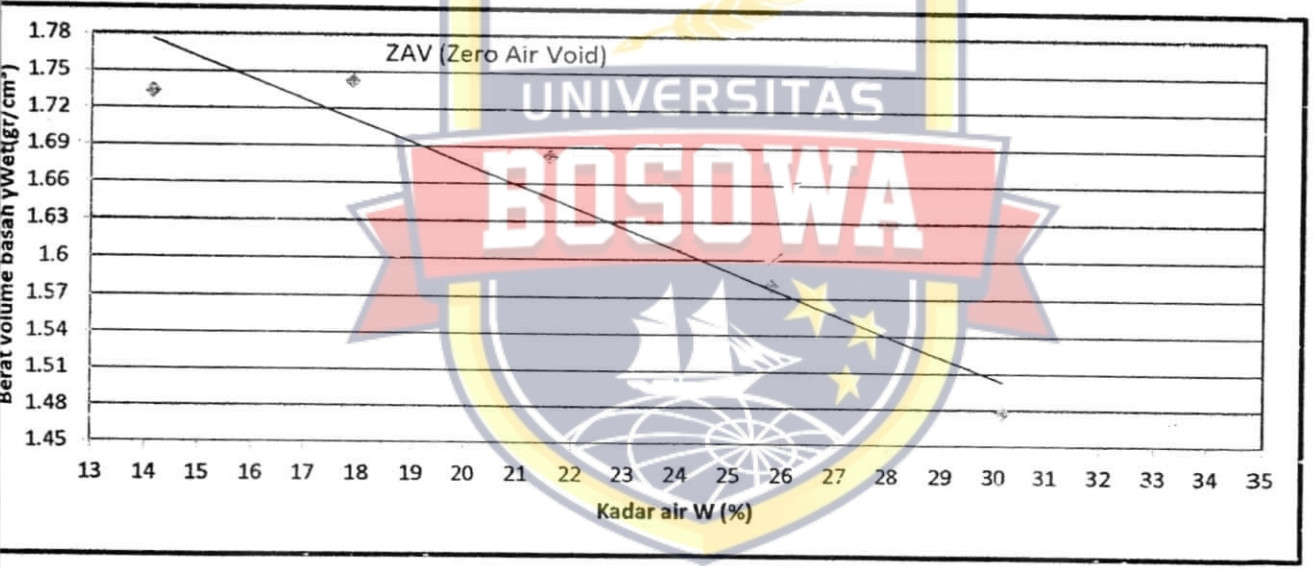
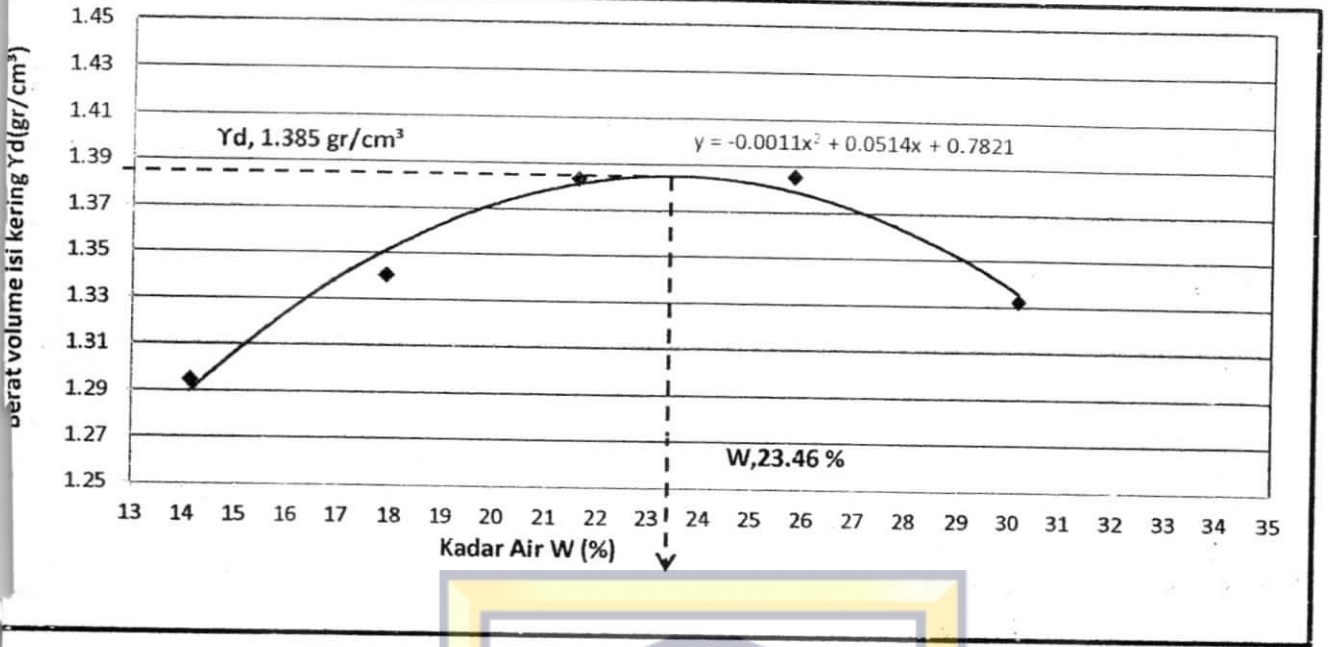
Cawan	-	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
Tanah Basah + Cawan	gram	72.7	76.1	76.1	70.5	65.0	65.0	58.8	55.5	54.1	57.0
Tanah Kering + Cawan	gram	64.7	67.8	60.8	56.8	55.0	49.8	46.0	44.8	44.5	47.3
Air (Ww)	gram	8.0	8.3	9.7	8.2	10.0	9.0	9.5	9.3	12.5	9.7
Cawan	gram	8.6	8.5	8.5	9.2	8.5	8.3	9.1	8.8	9.1	8.5
Tanah Kering	gram	56.1	59.3	52.3	47.6	46.5	41.5	36.9	36.0	35.4	38.8
Air (w)	%	14.3	14.0	18.5	17.2	21.5	21.7	25.7	25.8	35.3	25.0
Air Rata-rata	%	14.128	17.887	21.596	25.789	30.155					

ISI KERING

Tanah Basah, W wet	gram	1400	1468	1563	1619	1643
Air Rata-rata	%	14.128	17.887	21.596	25.789	30.155
Kering $W_{dry} = \frac{W_{wet}}{1 + \frac{w}{100}}$	gram	1226.688	1245.26169	1285.40347	1287.07295	1262.33749
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
Isi Kering $\gamma_{dry} = \frac{W_{dry}}{V_{mould}}$	gr/cm ³	1.295	1.341	1.384	1.386	1.332
Isi Basah $G_s = \frac{G_s}{1 + 100 \times G_s}$	gr/cm ³	1.939	1.807	1.694	1.581	1.479

Jenis (Gs) = 2.67

Tanah Asli
 Grafik Hubungan kadar air dengan berat volume kering



Makassar, 17 januari 2015

...ala Laboratorium

Asisten Laboratorium


 Yuniarto, ST.MT.
 DN. 0908066803


 Ir. Hasrullah

KOMPAKSI Tanah + ASP 2.5%

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
 MEOTE TEST : ASTM D 3080 -72
 DITEST OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 17 januari 2015

berat Tanah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
berat Air Mula-mula	%	13.04	13.04	13.04	13.04	13.04
tambahan Air	ml	50	100	150	200	250
berat Air Akhir	%	16.27	19.24	21.62	24.36	27.15

RAT ISI BASAH

Mould	-	1	2	3	4	5
berat Mould	gram	1613	1821	1754	1677	1613
berat Tanah Basah + Mould	gram	3013	3288	3278	3248	3210
berat Tanah Basah, Wwet	gram	1400	1467	1524	1571	1597
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
berat Volume Basah $\rho = W_{wet} / V_{mould}$	gr/cm ³	1.4777	1.5793	1.6406	1.6912	1.6857

DAR AIR

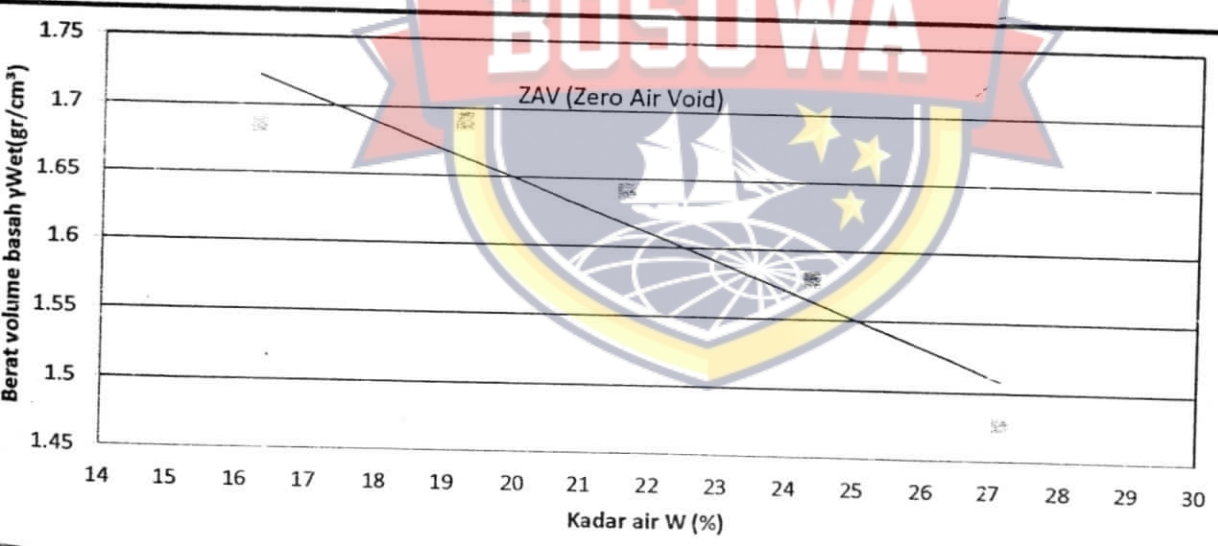
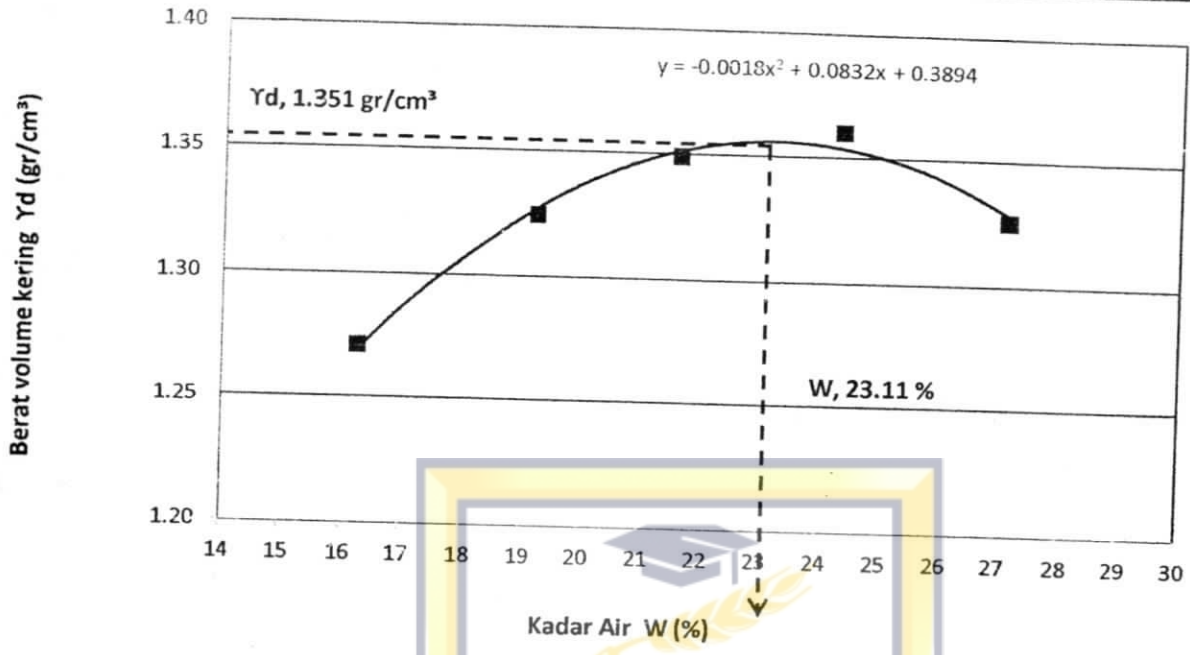
Cawan	-	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
berat Tanah Basah + Cawan	gram	57.8	56.3	50.3	64.9	67.9	59.7	66.8	47.2	44.4	42.8
berat Tanah Kering + Cawan	gram	50.5	49.3	43.2	55.8	57.1	50.7	55.4	39.2	36.7	35.0
berat Air (Ww)	gram	7.3	7.0	7.1	9.1	10.8	9.0	11.4	8.0	7.7	7.8
berat Cawan	gram	6.0	5.9	5.8	9.1	7.6	8.7	9.1	6.0	8.7	5.9
berat Tanah Kering	gram	44.5	43.4	37.4	46.7	49.5	42.0	46.3	33.2	28.0	29.1
berat Air (ω)	%	16.4	16.1	19.0	19.5	21.8	21.4	24.6	24.1	27.5	26.8
berat Air Rata-rata	%	16.267	19.235	21.623	24.359	27.152					

RAT ISI KERING

berat Tanah Basah, W wet	gram	1400	1467	1524	1571	1597
berat Air Rata-rata	%	16.267	19.235	21.623	24.359	27.152
berat Kering $W_{dry} = \frac{W_{wet}}{1 + \frac{\omega}{100}}$	gram	1204.127	1230.343	1253.049	1263.276	1255.976
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
berat Isi Kering $\gamma_{dry} = \frac{W_{dry}}{V_{mould}}$	gr/cm ³	1.271	1.325	1.349	1.360	1.326
berat Isi Basah $\gamma_{wet} = \frac{G_s}{1 + \omega \times G_s}$	gr/cm ³	1.847	1.751	1.681	1.607	1.538

berat Jenis (G_s) = 2.64

Tanah + Abu Sekam Padi 2.5%
 Grafik Hubungan kadar Air dengan Berat volume kering



Makassar, 17 januari 2015

Kepala Laboratorium

Asisten Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.
 NIDN. 0908066803

Ir. Hasrullah

KOMPAKSI Tanah + ASP 7.5%

PROYEK : PENELITIAN TUGAS AKHIR
 LOKASI : LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
 MEOTE TEST : ASTM D 3080 -72
 DITEST OLEH : SUPIRMAN / SUBRATA
 TANGGAL : 17 januari 2015

berat Tanah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
keadar Air Mula-mula	%	13.04	13.04	13.04	13.04	13.04
Penambahan Air	ml	50	100	150	200	250
keadar Air Akhir	%	17.52	20.08	22.68	24.96	27.79

ERAT ISI BASAH

No. Mould	-	1	2	3	4	5
berat Mould	gram	1613	1821	1754	1677	1613
berat Tanah Basah + Mould	gram	2990	3250	3235	3180	3106
berat Tanah Basah, Wwet	gram	1377	1429	1481	1503	1493
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
berat Volume Basah wet = W wet/ V mould	gr/cm ³	1.4535	1.5384	1.5944	1.6180	1.5759

KADAR AIR

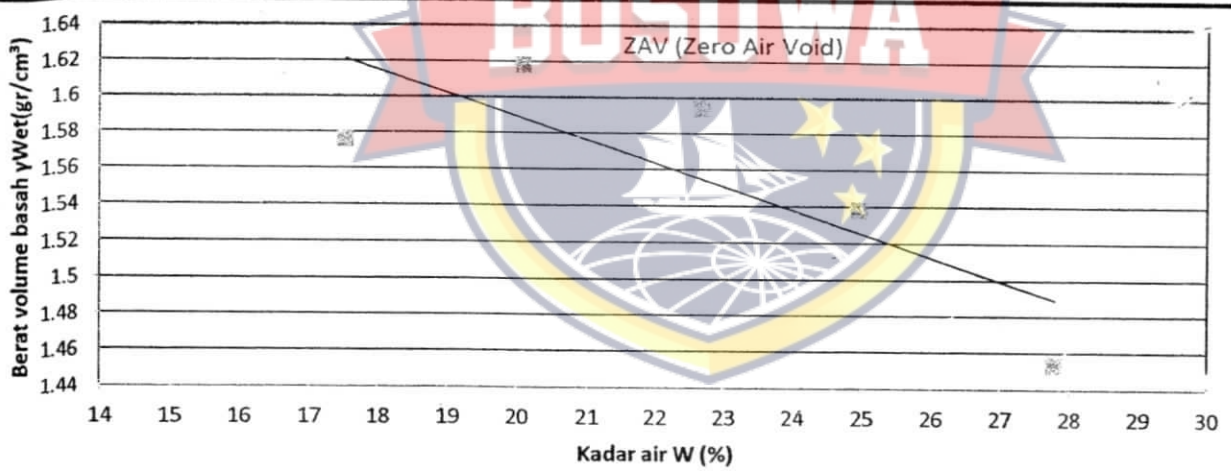
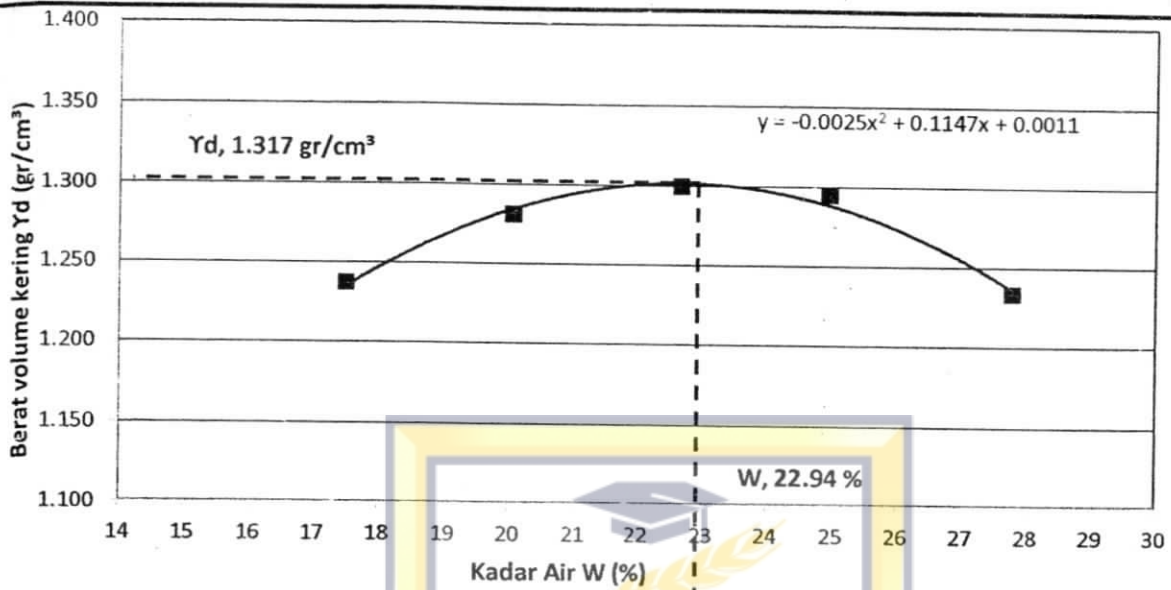
No. Cawan	-	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
berat Tanah Basah + Cawan	gram	63.1	59.6	58.9	68.3	57.1	52.0	64.1	60.6	67.0	56.0
berat Tanah Kering + Cawan	gram	55.0	52.0	50.6	58.3	48.2	43.9	53.0	50.3	54.1	45.8
berat Air (Ww)	gram	8.1	7.6	8.3	10.0	8.9	8.1	11.1	10.3	12.9	10.2
berat Cawan	gram	9.0	8.4	9.0	8.8	8.6	8.5	9.2	8.4	8.4	8.5
berat Tanah Kering	gram	46.0	43.6	41.6	49.5	39.6	35.4	43.8	41.9	45.7	37.3
keadar Air (w)	%	17.6	17.4	20.0	20.2	22.5	22.9	25.3	24.6	28.2	27.3
keadar Air Rata-rata	%	17.520	20.077	22.678	24.962	27.787					

ERAT ISI KERING

berat Tanah Basah, W wet	gram	1377	1429	1481	1503	1493
keadar Air Rata-rata	%	17.520	20.077	22.678	24.962	27.787
berat Kering $W_{dry} = \frac{W_{wet}}{1 + \frac{w}{100}}$	gram	1171.716	1190.07	1207.225	1202.762	1168.353
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
berat Isi Kering $\rho_{dry} = \frac{W_{dry}}{V_{mould}}$	gr/cm ³	1.237	1.281	1.300	1.295	1.233
berat Isi Basah $\rho_{wet} = \frac{G_s}{1 + 100 \times G_s}$	gr/cm ³	1.767	1.691	1.620	1.562	1.496

berat Jenis (Gs) = 2.56

Tanah + Abu Sekam Padi 7.5%
 Grafik Hubungan kadar Air dengan Berat volume kering



Makassar, 17 Januari 2015

Kepala Laboratorium

Asisten Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.

Ir. Hasrullah

NIDN. 0908066803

KOMPAKSI Tanah + ASP 12.5%

PROYEK	PENELITIAN TUGAS AKHIR
LOKASI	LAB MEKANIKA TANAH UNIV "45"
MEOTE TEST	ASTM D 3080 -72
DITEST OLEH	SUPIRMAN / SUBRATA
TANGGAL	: 17 januari 2015

Berat Tanah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
Kadar Air Mula-mula	%	13.04	13.04	13.04	13.04	13.04
Penambahan Air	ml	50	100	150	200	250
Kadar Air Akhir	%	17.26	19.81	22.35	24.67	27.48

BERAT ISI BASAH

No. Mould	-	1	2	3	4	5
Berat Mould	gram	1613	1821	1754	1677	1613
Berat Tanah Basah + Mould	gram	2993	3246	3231	3176	3109
Berat Tanah Basah, Wwet	gram	1380	1425	1477	1499	1496
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
Berat Volume Basah $\gamma_{wet} = W_{wet} / V_{mould}$	gr/cm ³	1.4566	1.5341	1.5900	1.6137	1.5791

KADAR AIR

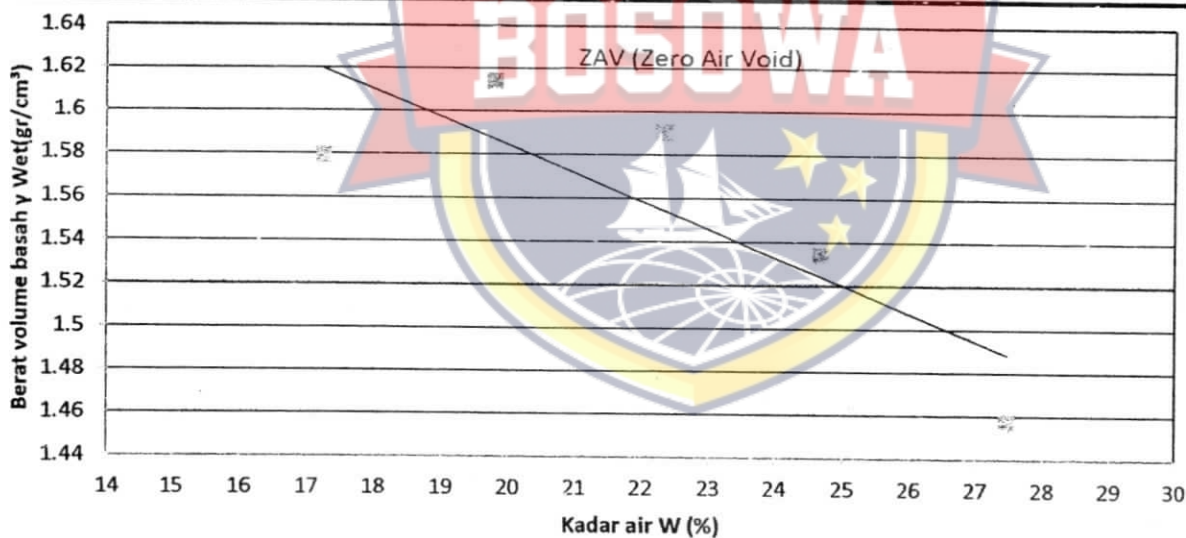
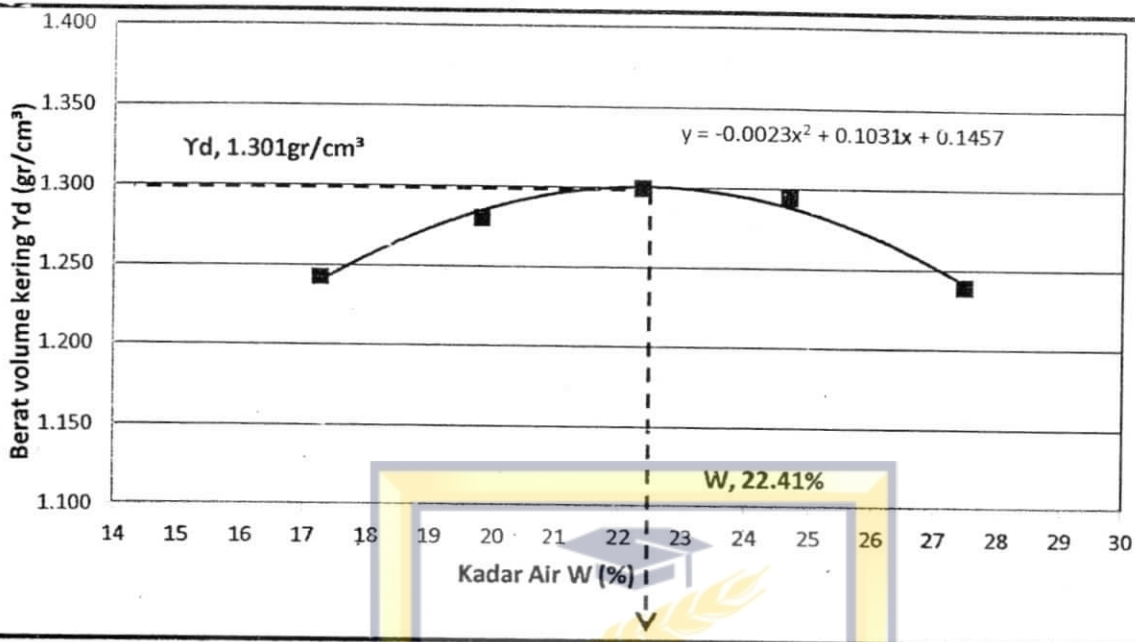
No. Cawan	-	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B
Berat Tanah Basah + Cawan	gram	63.1	59.6	58.9	68.3	57.1	52.0	64.1	60.6	67.0	56.0
Berat Tanah Kering + Cawan	gram	55.1	52.1	50.7	58.4	48.3	44.0	53.1	50.4	54.2	45.9
Berat Air (Ww)	gram	8.0	7.5	8.2	9.9	8.8	8.0	11.0	10.2	12.8	10.1
Berat Cawan	gram	9.0	8.4	9.0	8.8	8.6	8.5	9.2	8.4	8.4	8.5
Berat Tanah Kering	gram	46.1	43.7	41.7	49.6	39.7	35.5	43.9	42.0	45.8	37.4
Kadar Air (ω)	%	17.4	17.2	19.7	20.0	22.2	22.5	25.1	24.3	27.9	27.0
Kadar Air Rata-rata	%	17.258		19.812		22.351		24.671		27.476	

BERAT ISI KERING

Berat Tanah Basah, W wet	gram	1380	1425	1477	1499	1496
Kadar Air Rata-rata	%	17.258	19.812	22.351	24.671	27.476
Berat Kering $W_{dry} = \frac{W_{wet}}{1 + \frac{\omega}{100}}$	gram	1176.892	1189.364	1207.185	1202.361	1173.55
Volume Mould	cm ³	947.39	928.90	928.90	928.90	947.39
Berat Isi Kering $\gamma_{dry} = \frac{W_{dry}}{V_{mould}}$	gr/cm ³	1.242	1.280	1.300	1.294	1.239
Berat Isi Basah $\gamma_{total} = \frac{Gs}{1 + \omega \times Gs}$	gr/cm ³	1.727	1.654	1.587	1.531	1.468

Berat Jenis (Gs) = 2.46

Tanah + Abu Sekam Padi 12.5%
 Grafik Hubungan kadar Air dengan Berat volume kering



Makassar, 17 januari 2015

Kepala Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.
 NIDN. 0908066803

Asisten Laboratorium

Ir. Hasrullah

PENGUJIAN PERMEABILITAS

Proyek	: Penelitian Tugas Akhir
Lokasi	: Lab. Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil FT Univ 45
Tanggal Percobaan	: 18 Januari 2015
Nama	: SUPIRMAN / SUBRATA
Sampel	: Tanah Asli

Falling Head

Diameter buret (d)	: 1.50	cm
Diameter sampel (D)	: 6.50	cm

No. Test		1
Luas potongan melintang buret ($a=1/4pd^2$)	cm ²	1.77
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4pD^2$)	cm ²	33.17
Tinggi puncak hidrolis pada permulaan pengujian (h_1)	cm	101.1
Tinggi puncak hidrolis pada akhir pengujian (h_f)	cm	92.6
Panjang sampel (L)	cm	10.3
Waktu pengujian (t)	detik	120
Temperatur (T)	oC	26
Koreksi viskositas (h_T/h_{20})	-	0.867
Koefisien permeabilitas, $k_T=(a.L/A.t) \times \ln(h_1/h_f)$	cm/det	0.0004
Koefisien permeabilitas standar, $k_{20}(k_T(h_T/h_{20}))$	cm/det	0.0003

Untuk temperatur 26°C


$$\eta_T = 0.867$$

$$\eta_{20} = 1$$

Makassar 18 Januari 2015

Kepala Laboratorium

Asisten Laboratorium



Eka Yuniarto, ST.MT.
NIDN : 0908066803



Ir. Hasrullah

Tanggal Percobaan	: 18 Januari 2015
Nama	: SUPIRMAN / SUBRATA
Sampel	: Tanah Asli + Abu Sekam Padi 2.5%

Falling Head

Diameter buret (d)	: 1.50	cm
Diameter sampel (D)	: 6.50	cm

No. Test		1
Luas potongan melintang buret ($a=1/4pd^2$)	cm ²	1.77
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4pD^2$)	cm ²	33.17
Tinggi puncak hidrolik pada permulaan pengujian (h_1)	cm	101.1
Tinggi puncak hidrolik pada akhir pengujian (h_f)	cm	93.1
Panjang sampel (L)	cm	11
Waktu pengujian (t)	detik	120
Temperatur (T)	oC	26
Koreksi viskositas (h_T/h_{20})	-	0.867
Koefisien permeabilitas, $k_T=(a.L/A.t) \times \ln(h_1/h_f)$	cm/det	0.0004
Koefisien permeabilitas standar, $k_{20}(k_T(h_T/h_{20}))$	cm/det	0.0003

Untuk temperatur 26°C

$$\eta_T = 0.867$$

$$\eta_{20} = 1$$



Makassar 18 Januari 2015

Kepala Laboratorium

Asisten Laboratorium

Eka Yuniarto, ST.MT.
NIDN : 0908066803

Ir. Hasrullah

Tanggal Percobaan : 18 Januari 2015
 Nama : SUPIRMAN / SUBRATA
 Sampel : Tanah Asli + Abu Sekam Padi 7.5%

Falling Head

Diameter buret (d) : 1.50 cm
 Diameter sampel (D) : 6.50 cm

No. Test		1
Luas potongan melintang buret ($a=1/4pd^2$)	cm ²	1.77
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4pD^2$)	cm ²	33.17
Tinggi puncak hidrolik pada permulaan pengujian (h_1)	cm	101.1
Tinggi puncak hidrolik pada akhir pengujian (h_f)	cm	96.3
Panjang sampel (L)	cm	11
Waktu pengujian (t)	detik	120
Temperatur (T)	oC	26
Koreksi viskositas (h_T/h_{20})	-	0.867
Koefisien permeabilitas, $k_T=(a.L/A.t) \times \ln(h_1/h_f)$	cm/det	0.0002
Koefisien permeabilitas standar, $k_{20}(k_T(h_T/h_{20}))$	cm/det	0.0002

Untuk temperatur 26°C


$\eta_T = 0.867$
 $\eta_{20} = 1$



Makassar 18 Januari 2015

Kepala Laboratorium

Asisten Laboratorium


 Eka Yuniarto, ST.MT.
 NIDN : 0908066803


 Ir. Hasrullah