

**STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
MENGUNAKAN KOMBINASI KAPUR DAN
ABU CANGKANG SAWIT TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang**

Oleh:

ADDELLA PUTRI MAULDYA

NPM 223010004

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FALKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA
PALEMBANG**

2026

LEMBAR PENGESAHAN
STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPUR DAN
ABU CANGKANG SAWIT TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH



SKRIPSI

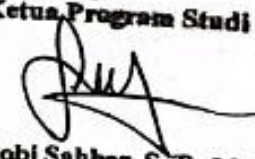
Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas IBA Palembang

Palembang, Juni 2026

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ir. Hardiyat Harang, M.T.
NIDK. 0324515

Menyetujui
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Robi Sahbar, S. T., M.T.
NIDN. 0203017302

LEMBAR PERSETUJUAN
STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF
MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPUR DAN
ABU CANGKANG SAWIT TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH



Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Univesitas IBA Palembang

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Ramadhani, S.T., M.T., IPM.
NIDN.0224107201

Dosen Pembimbing II

Eka Wisnu Sumatri, S.T., M.T
NIDN.207036901

RALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan:

Nama : Addella putri mauldya

NPM : 22310004

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Stabilitas Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Kombinasi Kapur Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kuat Geser

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Pengguji dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Univesitas IBA

Dewan Penguji:

1. Ir. Sapta, S.T., M.T., IPU, ASEAN ENG.

2. Sari Farlianti, S.T., M.T.

3. Amelia Rajela, S.T., M.T.



Ditetapkan : Palembang

Tanggal : Juli 2026

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIATISME

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Addella Putri Mauldya

Npm : 22310004

Program Studi : Teknik Sipil

Judul skripsi : Stabilitas tanah lempung ekspansif menggunakan kombinasi kapur dan abu cangkang sawit

Dengan ini menyatakan hasil penulisan Skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila kemudian hari ternyata penulis skripsi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan penuh kesadaran dan tidak ada paksaan dari siapapun dan oleh siapapun.

Palembang, 18 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Addella Putri Mauidya
(Npm 22310004)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepala Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikanNya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Adapun skripsi ini berjudul **“STABILITAS TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPUR DAN ABU CANGKAN KEPALA SAWIT TERHADAP NILAI KUAT GESER”** Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagai persyaratan akademik untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Hardayani Haruno, S.T., M.T selaku Dekan fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
2. Bapak H. Robi Sahbar, S.T., MT. Selaku ketua Prodi Teknik sipil Universitas IBA Palembang
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Ramadhani, S.T., MT., IPM Selaku Dosen pembimbing Skripsi Program Studi Teknik Sipil.
4. Bapak Eka Wisnu Sumtri, S.T., M.T. Selaku Dosen pembimbing Skripsi Program Studi Teknik sipil
5. Seluruh dosen dan staff tata usaha fakultas Teknik Sipil Universitas IBA Palembang
6. Terima kasih kepada Bapak M. Yamin, S.Sos. Selaku Guru, dan teman kuliah yang selalu mendorong penulis untuk menuntut cita-cita penulis sampai akhirnya penulis bisa Menyusun laporan skripsi ini.
7. kepada Ibu dan Ayah tercinta, Terima kasih atas segala kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, serta pengorbanan yang telah diberikan dengan tulus kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, khususnya dalam pengembangan ilmu di bidang teknik sipil.

Palembang, Juli 2026

Addella putri mauldya

ABSTRAK
STABILITAS TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN
KOMBINASI KAPUR DAN ABU CANGKAN KEPALA SAWIT
TERHADAP NILAI KUAT GESER

Ramadhani*, Eka wisnu*, Addella putri mauldya**

*) Dosen fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA

**) Alumni Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA

Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut tinggi akibat perubahan kadar air, sehingga dapat menimbulkan permasalahan pada konstruksi, terutama terhadap kestabilan dan daya dukung tanah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat tanah tersebut adalah stabilisasi dengan bahan tambah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur dan abu cangkang sawit terhadap perubahan nilai kuat geser tanah lempung ekspansif. Bahan stabilisasi yang digunakan berupa kapur dan abu cangkang sawit dengan variasi persentase campuran tertentu terhadap berat kering tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi untuk mengetahui perubahan karakteristik dan parameter kuat gesernya. Nilai kuat geser tanah dianalisis berdasarkan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang diperoleh dari hasil pengujian geser langsung (direct shear test). Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan komposisi campuran kapur dan abu cangkang sawit yang efektif dalam meningkatkan nilai kuat geser serta memperbaiki sifat tanah lempung ekspansif.

Berdasarkan hasil pengujian, perubahan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada setiap variasi campuran digunakan sebagai dasar untuk mengetahui efektivitas penambahan kapur dan abu cangkang sawit terhadap kuat geser tanah. Hasil perbandingan antara tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi diharapkan dapat menunjukkan adanya perubahan karakteristik kuat geser akibat penambahan bahan stabilisasi. Pemanfaatan abu cangkang sawit sebagai bahan stabilisasi juga diharapkan dapat menjadi alternatif pemanfaatan limbah perkebunan yang lebih ramah lingkungan dalam bidang konstruksi.

Kata kunci: tanah lempung ekspansif, stabilisasi tanah, kapur, abu cangkang sawit, kuat geser, geser langsung.

ABSTRACT
CLAY SOIL STABILIZATION USING
A COMBINATION OF LIME AND PALM OIL SHELL ASH
ON SHEAR STRENGTH VALUES

Ramadhani*, Eka Wisnu*, Addella Putri Mauldya**

**) Lecturer, Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, IBA University*

****) Alumni, Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, IBA University*

Expansive clay soil is a type of soil characterized by high swelling and shrinkage behavior due to changes in water content, which can cause problems in construction, particularly affecting soil stability and bearing capacity. One method that can be used to improve the properties of such soil is stabilization using additive materials. This study aims to determine the effect of adding lime and palm oil shell ash on changes in the shear strength of expansive clay soil. The stabilization materials used were lime and palm oil shell ash with various mixture percentages relative to the dry weight of the soil. Testing was conducted on both untreated soil and soil mixed with stabilization materials to determine changes in its characteristics and shear strength parameters. The shear strength of the soil was analyzed based on the cohesion (c) and internal friction angle (ϕ) parameters obtained from direct shear tests. The results are expected to indicate the effective composition of lime and palm oil shell ash mixtures for increasing shear strength and improving the properties of expansive clay soil.

Based on the test results, changes in cohesion (c) and internal friction angle (ϕ) for each mixture variation were used as the basis for determining the effectiveness of adding lime and palm oil shell ash in improving soil shear strength. A comparison between untreated soil and stabilized soil is expected to demonstrate changes in shear strength characteristics resulting from the addition of stabilization materials. The utilization of palm oil shell ash as a stabilization material is also expected to provide an alternative means of utilizing plantation waste in a more environmentally friendly manner in the field of construction.

Keywords: expansive clay soil, soil stabilization, lime, palm oil shell ash, shear strength, direct shear test.

HALAMAN MOTTO

«لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ شَيْئًا مِنْ شَيْءٍ إِلَّا وَجْهًا مُبِينًا»

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya dia mendapat (pahala) dari (kebijakan) yang dikerjakannya dan mendapatkan (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya”

(Q.S Al-Baqarah:286)

«إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا»

“Maka sesungguhnya Bersama kesulitan itu ada kemudahan
Sesungguhnya Bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al- insyirah:5-6)

“Small steps every day lead to great achievements”.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan nikmat, Rahmat serta Kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPUR DAN ABU CANGKANG SAWIT TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH”**. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan, pengetahuan, serta dukungan dari banyak pihak yang selama ini membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan hati yang tulus penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat serta karunia pertolonganNya selama penulis menyusun skripsi.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi contoh sekaligus panutan bagi penulis.
3. Terima Kasih kepada Alm.mbah akung tercinta dan kerinduan atas segala kasih sayang, perhatian, nasihat, doa, serta nilai-nilai kehidupan yang telah Mbah Akung tanamkan sejak penulis kecil. Meskipun Mbah Akung tidak lagi berada di sisi penulis untuk menyaksikan secara langsung pencapaian ini, penulis percaya bahwa setiap doa dan kebaikan yang pernah diberikan akan selalu menjadi penyemangat dalam setiap langkah kehidupan. Kepergian Mbah Akung meninggalkan duka yang mendalam, namun juga menjadi pengingat bagi penulis untuk terus berjuang, menjadi pribadi yang lebih baik, serta menyelesaikan pendidikan ini sebagai salah satu bentuk penghormatan dan rasa terima kasih atas segala pengorbanan dan kasih sayang yang telah diberikan.
4. kepada Ibu dan Ayah tercinta, Terima kasih atas segala kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, serta pengorbanan yang telah diberikan dengan tulus kepada penulis. Walaupun ayah bukan ayah kandung tapi ayah selalu mengusahakan apapun yang penulis mau dan Kehadiran Ibu dan Ayah telah menjadi sumber kekuatan dan semangat dalam setiap langkah perjalanan hidup penulis, terutama dalam menghadapi berbagai tantangan selama menempuh pendidikan hingga penyelesaian skripsi ini yang telah menerima penulis dengan penuh kasih,

memberikan motivasi untuk terus berjuang, serta selalu percaya bahwa penulis mampu menyelesaikan setiap proses yang dijalani. Setiap nasihat, doa, dan dukungan yang diberikan menjadi penyemangat bagi penulis untuk tidak mudah menyerah dalam meraih cita-cita.

5. kepada Adik-Adik Tercinta, Muhammad yusuf, muhammmad ibrahim, siti Fatimah Azzahra Dengan penuh rasa kasih sayang, skripsi ini penulis persembahkan kepada adik-adik tercinta yang selalu menjadi sumber kebahagiaan, semangat, dan motivasi dalam setiap langkah kehidupan penulis. Terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, serta keceriaan yang selalu diberikan. Kehadiran kalian menjadi pengingat bagi penulis untuk terus berjuang, memberikan teladan yang baik, dan tidak mudah menyerah dalam menghadapi setiap tantangan selama menyelesaikan pendidikan ini. Semoga pencapaian sederhana ini dapat menjadi inspirasi bagi kalian untuk terus belajar, berusaha, dan meraih cita-cita setinggi mungkin. Jangan pernah berhenti bermimpi dan yakinlah bahwa setiap usaha yang disertai doa akan membuahkan hasil yang indah pada waktunya.
6. Kepada seluruh keluarga besar BIG FAMILY SARDIO tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, dan semangat kepada penulis selama menempuh Pendidikan. Terima kasih atas setiap doa yang dipanjatkan, setiap nasihat yang diberikan, serta setiap bentuk dukungan, baik secara moral maupun materiil, yang telah menjadi kekuatan bagi penulis dalam menghadapi setiap tantangan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. kepada seseorang yang begitu berarti dalam perjalanan hidup penulis, Terima kasih karena telah hadir sebagai sosok yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, perhatian, serta motivasi di setiap proses yang penulis lalui. Di saat penulis merasa lelah, ragu, dan hampir menyerah, kehadiran, kata-kata penyemangat, serta kepercayaan yang diberikan menjadi kekuatan untuk terus melangkah hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Yang telah menjadi pendengar yang baik, memberikan pengertian, serta menemani penulis melewati berbagai suka dan duka selama menempuh pendidikan. Setiap dukungan yang diberikan

memiliki arti yang sangat besar dan menjadi bagian dari perjalanan berharga yang akan selalu penulis kenang.

8. Kepada rekan-rekan kuliah, Annisa azzakiyah, S.T, nurrlie Aprilia kinanti, S.T, Septi Anggraini, S.T, Devi permata sari, S.T, Desti aulia, S.T dan teman-teman seperjuangan yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, semangat, kerja sama, serta berbagai pengalaman berharga yang telah kita lalui bersama selama menempuh pendidikan. Setiap diskusi, canda tawa, saling membantu, dan saling menguatkan menjadi kenangan yang tidak akan pernah terlupakan. Terima kasih telah menjadi teman dalam menghadapi berbagai tantangan, saling memberikan motivasi ketika merasa lelah, serta berbagi ilmu dan pengalaman yang sangat berarti. Kehadiran kalian telah memberikan warna tersendiri dalam perjalanan menyelesaikan skripsi

9. kepada pakde tercinta, Dengan penuh rasa syukur dan cinta, karya ini saya persembahkan untuk Pakde tercinta, sosok yang telah membesarkan saya dengan penuh kasih sayang, kesabaran, dan ketulusan. Terima kasih karena telah menjadi tempat saya bertumbuh, memberikan perhatian, nasihat, serta selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk saya.

Mungkin tidak akan pernah cukup kata untuk membalas semua kebaikan dan pengorbanan Pakde selama ini. Setiap doa, perhatian, kerja keras, dan kasih sayang yang Pakde berikan menjadi salah satu alasan saya bisa sampai di titik ini. Jika hari ini saya mampu menyelesaikan pendidikan ini, ada banyak perjuangan Pakde yang ikut berada di balik pencapaian ini. Terima kasih telah hadir dan menjadi sosok yang begitu berarti dalam hidup saya.

10. kepada diri sendiri, Terima kasih untuk diriku sendiri, Addella putri mauldya, S.T. yang telah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tetap memilih untuk melangkah meskipun banyak rasa lelah, takut, kecewa, dan keraguan yang harus dilewati. Terima kasih karena tidak menyerah di saat semuanya terasa berat. Terima kasih telah berusaha, belajar, jatuh, bangkit, dan kembali mencoba. Tidak semua perjuangan terlihat oleh orang lain, tetapi aku tahu betapa panjang perjalanan yang telah aku lalui untuk sampai di titik ini. Hari ini, aku ingin

memberikan apresiasi kepada diriku sendiri. Bukan karena semuanya telah sempurna, tetapi karena aku telah berani menyelesaikan apa yang sudah aku mulai. Untuk diriku, terima kasih telah bertahan. Kamu hebat karena mampu melewati semua ini. Semoga pencapaian ini menjadi pengingat bahwa sesulit apa pun perjalanan ke depannya, kamu pernah berhasil melewati hari-hari yang jauh lebih berat dari ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
HALAMAN MOTTO.....	xii
PERSEMBAHAN.....	xiii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan penelitian	3
1.5 Batasan masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanah	5
2.2 Klasifikasi Tanah	6
2.3 Jenis-Jenis Tanah	7
2.4 Tanah lempung ekspansif	8
2.5 Stabilisasi tanah	9
2.6 Kapur sebagai bahan Stabilitas	9
2.7 Abu Cangkang Sawit	10
2.8 Kuat geser tanah	11
2.9 Alat Penelitian dan Fungsinya	12
2.10 Bahan penelitian dan fungsinya.....	16
2.11 Variasi Campuran Penelitian	18

2.12 Pengujian karakteristik tanah.....	18
2.13 Pembuatan Benda Uji	21
2.14 Jurnal Terdahulu	23
BAB III METODELOGI PENELITIAN	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Waktu Penelitian.....	25
3.3 Flow chart	26
3.4 Alat dan bahan penelitian	27
3.4.1 Alat penelitian	27
3.4.2 Bahan-bahan penelitian	29
3.5 Pengambilan sampel	30
3.6 Persiapan Sampel Penelitian.....	31
3.7 Hasil Analisa saringan	31
3.8 Hasil pengujian kadar air	34
3.9 Pengujian Berat Jenis.....	37
3.10 Pengujian Batas Atterberg	40
3.11 Pengujian Kuat Geser	43
3.11.1 Pengujian proctor standar (PTS).....	44
3.11.2 Direct sheart	46
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Pengujian Analisis Saringan.....	49
4.2 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah.....	51
4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis (Specific Gravity)	53
4.4 Hasil Pengujian Atterberg Limit.....	55
4.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)	58
4.6 Pengujian Direct Shear	61
4.7 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 5% Kapur + 6% Abu Cangkang Sawit (ACS).....	62
4.8 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 20% Kapur + 30% Abu Cangkang Sawit (ACS)	64
4.9 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 15% Kapur + 7% Abu Cangkang Sawit (ACS)	65

4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Direct Shear	66
BAB V PENUTUP	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Berat tanah kering setelah di oven $105^{\circ}\text{C} - 110$ dan lama pengerjaan $\pm$ 24 jam	37
Tabel 3. 2 rencana variasi campuran	45
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Analisis Saringan	50
Tabel 4. 2 Kurva Distribusi Ukuran Butiran	51
Tabel 4. 3 Pengujian kadar air	52
Tabel 4. 4 Pengujian Berat Jenis	54
Tabel 4. 5 Pengujian Atterberg Limit	58
Tabel 4. 6 Sifat Fisistanaah Dan Klasifikasi Tanah	59
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Standard Proctor	59
Tabel 4. 8 Parameter Hasil Standard Proctor	60
Tabel 4. 9 variasi campuran sudut geser dalam	66
Tabel 4. 10 variasi campuran kohesi	67
Tabel 4. 11 Hasil Keseluruhan Pengujian	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kapur Tohor	10
Gambar 2. 2 Abu Cangkang Sawit	11
Gambar 2. 3 Tanah Lempung Ekspansif	16
Gambar 2. 4 Abu Cangkang Sawit	17
Gambar 2. 5 Kapur Tohor	17
Gambar 2. 6 Air.....	18
Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung Ekspansif.....	25
Gambar 3. 2 Bagan Penelitian	26
Gambar 3. 3 Alat Yang Digunakan Untuk Penelitian	28
Gambar 3. 4 Bahan-Bahan Penelitian.....	29
Gambar 3. 5 Pengambilan Sampel	30
Gambar 3. 6 Proses Persiapan Sampel	31
Gambar 3. 7 Bahan Yang Digunakan Untuk Pengujian Analisa Saringan No 200 Dan No 04 (4,75).....	33
Gambar 3. 8 Analisa Saringan 200 Dan Saringan 04	33
Gambar 3. 9 Tanah Asli Lempung Ekspansif.....	35
Gambar 3. 10 Penimbangan Cawan Kosong.....	35
Gambar 3. 11 Memasukan Tanah Basah Ke Dalam Cawan.....	35
Gambar 3. 12 Penimbangan Tanah Basah Beserta Cawan.....	36
Gambar 3. 13 memasukan sampel ke dalam oven	36
Gambar 3. 14 Suhu Oven 105°C – 110°C Dan Lama Pengerjaan ± 24 Jam.....	37
Gambar 3. 15 Timbang Piknometer Kosong.....	38
Gambar 3. 16 Menimbang Piknometer Berisi Sampel	38
Gambar 3. 17 Mengisi Air Ke Piknometer	38
Gambar 3. 18 Mengisi Air Di Piknometer Dan Menimbang.....	39
Gambar 3. 19 Berat Jenis piknometer berisi air dengan berat.....	39
Gambar 3. 20 Proses Pencampuran Tanah Dan Air	40
Gambar 3. 21 Tanah Di Masukan Ke Alat Casgrandle	40
Gambar 3. 22 Membuat Alur di Sampel	41

Gambar 3. 23 Perbedaan Hasil Setelah Dan Sebelum si Ketuk	41
Gambar 3. 24 Menimbang Sampel Dan Memasukan Oven Selama 24 Jam	42
Gambar 3. 25 Memnggulung Sampel Di Atas Pelat Kaca	42
Gambar 3. 26 Menimbang Sebelum Dan Sesudah di Masukan Oven.....	43
Gambar 3. 27 pengujian proctor sederhana (pts).....	45
Gambar 3. 28 Menghitung Volume Sampel.....	46
Gambar 3. 29 Persiapan benda Uji direct shear.....	47
Gambar 3. 30 Memberi beban normal pada pengujian direct shear	47
Gambar 4. 1 Diagram batang pengujian pts	60
Gambar 4. 2 Diagram batang kuat geer tanah asli.....	62
Gambar 4. 3 Diagram batang kuat geser 5% kapur + 6% ACS	63
Gambar 4. 4 Diagram batang kuat geser 20% kapur + 30% ACS.....	64
Gambar 4. 5 Diagram batang kuat geser 15% kapur + 7% ACS.....	65
Gambar 4. 6 Diagram batang geser tanah dalam.....	66
Gambar 4. 7 Diagram batang variasi campuran kohesi.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu komponen utama dalam konstruksi teknik sipil yang berfungsi sebagai media pendukung beban struktur di atasnya. Namun, tidak semua jenis tanah memiliki karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*). Salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan permasalahan adalah tanah lempung ekspansif. Tanah ini memiliki sifat mengembang (*swelling*) saat kadar air meningkat dan menyusut (*shrinkage*) saat mengalami pengeringan. Perubahan volume ini dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi seperti retak pada perkerasan jalan, penurunan pondasi, serta ketidakstabilan struktur (walewangko, sompie dan sumampouw, 2020).

Di wilayah Indonesia, khususnya di daerah dengan kondisi tanah lempung yang cukup luas, permasalahan tanah ekspansif menjadi perhatian penting dalam perencanaan konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan sifat tanah melalui metode stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah, serta mengurangi sifat tanah kembang susut yang merugikan. Salah satu metode stabilisasi yang umum digunakan adalah stabilisasi kimia dengan menggunakan kapur. Kapur telah terbukti mampu memperbaiki sifat fisik dan mekanika tanah lempung melalui reaksi *pozzolanik* yang terjadi antara kapur dan mineral tanah, sehingga meningkatkan kekuatan tanah serta mengurangi *plastisitas* dan potensi pengembangan. Namun, penggunaan kapur saja terkadang belum memberikan hasil yang optimal, sehingga diperlukan bahan tambahan lain untuk meningkatkan efektivitas stabilitas.

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan limbah industri sebagai bahan stabilitas tanah mulai dikembangkan, salah satunya adalah abu cangkang sawit. Abu cangkang sawit merupakan limbah hasil pembakaran cangkang sawit yang mengandung senyawa silika dan alumina yang bersifat *pozzolanik*. Dengan sifat tersebut, abu cangkang sawit berpotensi meningkatkan reaksi kimia dalam proses stabilisasi tanah jika dikombinasikan dengan kapur. Kombinasi antara kapur dan abu cangkang sawit diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih efektif dalam

meningkatkan sifat mekanik tanah. Kuat geser merupakan parameter penting dalam menentukan kestabilan tanah terhadap beban yang bekerja. Peningkatan nilai kuat geser akan berdampak langsung pada peningkatan daya dukung tanah serta keamanan struktur di atasnya.

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan campuran kapur tonor dan abu cangkang sawit terhadap kuat geser tanah lempung ekspansif menggunakan metode Direct Shear Test.
2. Bagaimana perubahan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada tanah lempung ekspansif setelah diberikan variasi campuran kapur tonor dan abu cangkang sawit.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan dan ruang lingkup penelitian kami sebagai berikut:

1. Lokasi dan Karakteristik Sampel Tanah Lokasi Pengambilan: Sampel tanah diambil dari permukaan Kampus Poltekpar Palembang, Jakabaring, Sumatera selatan yang secara visual dan teknis terindikasi sebagai tanah lempung ekspansif.

Metode Pengambilan: Tanah diambil pada kedalaman 0.5 - 1.5 Meter dari permukaan tanah setempat.

Kondisi Sampel: Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah terganggu (disturbed sample).

2. Bahan Stabilisasi (Bahan Aditif)

Kapur: Menggunakan kapur [Sebutkan jenisnya, contoh: kapur tohor (CaO) atau kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)] yang diperoleh dari toko bangunan lokal atau pemasok lokal.

Abu Cangkang Sawit (ACS): Menggunakan limbah sisa pembakaran cangkang kelapa sawit yang diperoleh dari [mayora / Pabrik Kelapa Sawit].

Kondisi Bahan: Abu cangkang sawit yang digunakan harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm) untuk memastikan kehalusan material pozzolanik.

3. Pengujian Laboratorium dilakukan di BAT Universitas IBA Palembang

1.4 Tujuan penelitian

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan campuran kapur tonor dan abu cangkang sawit terhadap kuat geser tanah lempung ekspansif menggunakan metode Direct Shear Test.
2. Untuk mengetahui bagaimana perubahan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada tanah lempung ekspansif setelah diberikan variasi campuran kapur tonor dan abu cangkang sawit.

1.5 Batasan masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif yang di ambil dari satu lokasi tertentu ialah jalan silaberanti 1 ulu, palembang, suamtera selatan.
2. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah kapur dan abu cangkang sawit
3. Variasi campuran kapur dan abu cangkang sawit ditentukan sesuai dengan kebutuhan penelitian.
4. Pengujian yang dilakukan difokuskan pada sifat fisik dan mekanik tanah, khususnya nilai kuat geser tanah.
5. Metode pengujian kuat geser tanah dilakukan di laboratorium (misalnya uji geser langsung/ direct shear atau sesuai alat yang tersedia.)
6. Penelitian ini tidak membahas aspek biaya secara rinci maupun aplikasi langsung di lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman dalam penyusunan skripsi ini, maka sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian, seperti karakteristik tanah lempung ekspansif, stabilisasi tanah, penggunaan kapur, abu cangkang sawit, serta teori mengenai kuat geser tanah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi: lokasi, dan waktu penelitian, bahan dan alat, prosedur pengujian, serta metode analisis data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium serta analisis dan pembahasan terhadap hasil tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang tidak terikat keras satu sama lain (unconsolidated), yang terletak di atas batuan dasar (bedrock). Sifatnya sangat berbeda dengan ilmu pertanian karena teknik sipil memandang tanah sebagai elemen struktural baik sebagai fondasi tempat berdiri sebuah bangunan maupun sebagai material konstruksi itu sendiri. Sebagai lapisan terluar bumi, tanah memiliki karakteristik dan sifat yang bervariasi di setiap wilayah. Dokuchaev (1870, dalam Fauizek dkk., 2018) mendefinisikan tanah sebagai lapisan permukaan yang terbentuk dari batuan induk yang mengalami modifikasi lebih lanjut. Proses alami ini dipengaruhi oleh interaksi air, udara, serta aktivitas organisme hidup maupun mati. Dampak dari proses pelapukan tersebut secara jelas tercermin pada perbedaan komposisi, struktur, dan warna tanah.

Berdasarkan perspektif teknik, Das mendefinisikan tanah sebagai kumpulan (agregat) butiran mineral padat yang tidak saling terikat secara kimiawi (tanpa sementasi), serta mencakup material organik yang telah mengalami pelapukan. Dalam struktur ini, ruang-ruang kosong atau pori di antara partikel padat tersebut diisi oleh zat cair dan gas. Sifat tanah berdasarkan ukuran butir adalah pengelompokan tanah menurut besar kecilnya partikel penyusunnya. Dalam ilmu mekanika tanah, pemahaman mengenai karakteristik tanah menjadi dasar dalam proses perencanaan, pelaksanaan, maupun evaluasi suatu pekerjaan konstruksi.

Sebelum suatu bangunan didirikan, diperlukan penyelidikan tanah untuk mengetahui kondisi tanah di lapangan sehingga dapat ditentukan jenis pondasi, metode perbaikan tanah, maupun teknik konstruksi yang paling sesuai. Tanah yang memiliki daya dukung tinggi umumnya dapat langsung dimanfaatkan sebagai tanah dasar, sedangkan tanah yang memiliki daya dukung rendah, plastisitas tinggi, atau bersifat ekspansif memerlukan proses stabilisasi agar memenuhi persyaratan teknis. Oleh karena itu, pengenalan terhadap sifat-sifat tanah tidak hanya bertujuan untuk mengidentifikasi jenis tanah, tetapi juga untuk mengetahui perilakunya terhadap

beban dan perubahan kadar air sehingga dapat menjamin keamanan, kestabilan, serta umur layan suatu konstruksi. Ukuran butir tanah sangat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik tanah seperti permeabilitas, plastisitas, kepadatan, dan kuat geser sebagai berikut yaitu:

1. Kerikil
2. Pasir
3. Lanau
4. Lempung

2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengelompokan tanah berdasarkan karakteristik fisik dan mekaniknya agar dapat diketahui sifat serta perilaku tanah untuk berbagai keperluan teknik sipil. Pengelompokan ini dilakukan berdasarkan ukuran butiran, distribusi gradasi, plastisitas, kadar air, dan parameter lainnya yang berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam menahan beban. Melalui klasifikasi tanah, seorang perencana dapat menentukan jenis pondasi yang sesuai, memperkirakan daya dukung tanah, serta memilih metode perbaikan tanah apabila kondisi tanah tidak memenuhi persyaratan teknis. Oleh karena itu, klasifikasi tanah menjadi salah satu tahapan penting dalam penyelidikan tanah sebelum dilaksanakannya pembangunan suatu konstruksi.

Dalam bidang geoteknik, terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang paling banyak digunakan, yaitu Unified Soil Classification System (USCS) dan sistem klasifikasi dari American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Sistem USCS dikembangkan oleh Arthur Casagrande dan mengelompokkan tanah berdasarkan distribusi ukuran butiran serta nilai batas Atterberg yang meliputi batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas. Berdasarkan sistem ini, tanah dibedakan menjadi tanah berbutir kasar yang terdiri atas kerikil dan pasir, serta tanah berbutir halus yang terdiri atas lanau dan lempung. Selain itu, terdapat pula kelompok tanah organik dan gambut yang memiliki karakteristik khusus karena mengandung bahan organik dalam jumlah tinggi.

Sementara itu, sistem klasifikasi AASHTO lebih banyak digunakan dalam perencanaan dan pembangunan jalan raya karena berorientasi pada kualitas tanah sebagai tanah dasar (subgrade). Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam kelompok A-1 hingga A-8 berdasarkan hasil analisis saringan, batas cair, dan indeks plastisitas. Tanah yang termasuk kelompok A-1 umumnya memiliki kualitas sangat baik sebagai tanah dasar, sedangkan kelompok A-7 dan A-8 memiliki kualitas yang lebih rendah karena bersifat plastis, mudah mengalami perubahan volume, dan memiliki daya dukung yang kecil. Dengan adanya sistem klasifikasi tersebut, karakteristik tanah dapat diidentifikasi secara lebih sistematis sehingga memudahkan dalam menentukan perlakuan teknis yang tepat pada suatu pekerjaan konstruksi.

2.3 Jenis-Jenis Tanah

Berdasarkan ukuran butiran, sifat fisik, dan karakteristik mekaniknya, tanah dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu tanah kerikil, tanah pasir, tanah lanau, tanah lempung, tanah organik, dan tanah gambut. Setiap jenis tanah memiliki sifat yang berbeda sehingga memberikan respons yang berbeda pula terhadap pembebanan maupun perubahan kadar air. Perbedaan karakteristik tersebut sangat memengaruhi kemampuan tanah dalam mendukung suatu konstruksi, sehingga pemilihan jenis pondasi dan metode perbaikan tanah harus disesuaikan dengan kondisi tanah di lapangan. Oleh sebab itu, identifikasi jenis tanah menjadi salah satu tahapan penting dalam pekerjaan geoteknik.

Tanah kerikil dan tanah pasir termasuk ke dalam kelompok tanah berbutir kasar yang memiliki daya dukung relatif tinggi, permeabilitas besar, serta kompresibilitas rendah. Tanah jenis ini umumnya memiliki drainase yang baik sehingga tidak mudah mengalami perubahan volume akibat pengaruh air. Sebaliknya, tanah lanau dan tanah lempung termasuk kelompok tanah berbutir halus yang mempunyai permeabilitas rendah dan sifat yang sangat dipengaruhi oleh kadar air. Tanah lanau cenderung mudah tererosi dan memiliki kohesi rendah, sedangkan tanah lempung memiliki kohesi tinggi, bersifat plastis, serta mampu menyerap air dalam jumlah besar sehingga mudah mengalami pengembangan

(swelling) dan penyusutan (shrinkage). Sifat inilah yang menyebabkan tanah lempung sering menjadi objek penelitian dalam bidang stabilisasi tanah.

Selain tanah mineral, terdapat pula tanah organik dan tanah gambut yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan dan bahan organik yang mengalami proses pembusukan dalam waktu yang lama. Kedua jenis tanah tersebut umumnya memiliki kadar air tinggi, berat isi rendah, daya dukung kecil, serta tingkat penurunan (settlement) yang besar sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi tanpa dilakukan perbaikan terlebih dahulu. Dalam penelitian geoteknik, tanah lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah yang paling banyak dikaji karena memiliki potensi perubahan volume yang tinggi ketika mengalami perubahan kadar air. Oleh karena itu, berbagai metode stabilisasi, seperti penambahan kapur, semen, abu terbang, maupun abu cangkang sawit, banyak diterapkan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik tanah sehingga lebih layak digunakan sebagai tanah dasar maupun lapisan pondasi konstruksi.

2.4 Tanah lempung ekspansif

Menurut Grim, tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis bila di campurkan dengan air. Braja M. das menambahkan bahwa tanah lempung juga mengandung beberapa mineral lain yang termasuk mineral lempung (non-clay minerals), artinya memberikan sifat plastis pada tanah lempung antara lain kuarsa, feldspar dan mika.

Pada dasarnya, terdapat jenis tanah lempung yaitu tanah lempung primer dan tanah lempung sekunder. Tanah lempung primer merupakan tanah lempung murni hasil pelapukan batuan feldspatik yang tidak bersifat plastis. Sedangkan tanah lempung sekunder merupakan hasil dari pelapukan feldspatik yang bercampur dengan material lain dan bersifat plastis.

Tanah lempung ekspansif adalah tanah lempung yang didominasi oleh mineral montmorillonite. Tanah ini memiliki nilai plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta kembang susut yang ekstrim jika terjadi perubahan kadar air. Mineral montmorillonite mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya karena memiliki permukaan spesifik yang besar.

2.5 Stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah merupakan suatu proses perbaikan sifat fisik dan mekanis tanah guna meningkatkan kemampuan tanah dalam menopang beban konstruksi secara aman. Perbaikan ini dilakukan dengan meningkatkan daya dukung tanah, menurunkan plastisitas, serta mengurangi tingkat kompresibilitasnya. Sifat teknis tersebut antara lain daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, workability, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Stabilisasi yang dapat dilakukan adalah pemadatan dan pencampuran tanah dengan tanah tambahan lain (Harrrt christady, 2013).

Bahan tambahan berfungsi sebagai stabilisator mekanis maupun kimiawi. Stabilisator mekanis disebut juga filler, yaitu bahan pengisi pori tanah untuk mendapatkan gradasi yang beragam sehingga terjadi interlocking antar butir tanah. Sedangkan stabilisator kimiawi merupakan bahan yang mengandung mineral – mineral tertentu untuk meniptakan reaksi yang dapat memperbaiki sifat- sifat teknis tanah.

Tujuan dan Manfaat Stabilisasi Tanah

- a. Meningkatkan daya dukung agar mampu menopang beban konstruksi.
- b. Mengurangi risiko penurunan tanah yang tidak meratas
- c. Mengendalikan perubahan kadar air untuk meminimalkan pengembangan dan penyusutan tanah.
- d. Meningkatkan ketahanan tanah terhadap pengaruh air dan erosi.

2.6 Kapur sebagai bahan Stabilitas

Stabilisasi tanah dengan kapur merupakan teknik perbaikan tanah yang dilakukan melalui pencampuran kapur ke dalam tanah guna memperbaiki karakteristik tanah tersebut. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi sifat plastis, serta menekan potensi kembang-susut pada tanah lempung. Proses reaksi antara kapur dan mineral tanah menghasilkan struktur tanah yang lebih padat, stabil, dan mampu menopang beban konstruksi dengan lebih baik.

Kapur merupakan material yang diperoleh dari hasil pengolahan batuan kapur yang mengandung unsur kalsium. Bahan ini banyak dimanfaatkan dalam

bidang konstruksi, khususnya untuk proses stabilisasi tanah, karena dapat meningkatkan kekuatan tanah serta mengurangi sifat plastis dan potensi kembang-susut pada tanah lempung. Pada umumnya, penambahan kapur dalam tanah lempung oleh adanya air menurut (Hardiyatmo, 2010) akan menyebabkan 2 reaksi yaitu reaksi pertukaran kation dan flokulasi serta reaksi pozzolanil antara tanah lempung dan kapur. Tujuan utama penggunaan kapur untuk stabilitas tanah adalah memodifikasi sifat-sifat tanah lempung dan kapur yang ditujukan untuk stabilitas tanah secara permanen.



Gambar 2. 1 Kapur Tohor

2.7 Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit merupakan limbah hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang umumnya dihasilkan dari kegiatan pengolahan di pabrik kelapa sawit. Material ini mengandung beberapa senyawa kimia penting, seperti silika (SiO_2), kalsium oksida (CaO), dan alumina, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam bidang konstruksi, khususnya untuk stabilisasi tanah dan campuran beton.

Dalam bidang teknik sipil, abu cangkang sawit banyak dimanfaatkan sebagai material alternatif karena memiliki sifat pozzolanik, yaitu mampu bereaksi dengan kapur dan air sehingga menghasilkan senyawa yang dapat meningkatkan kekuatan dan kestabilan material. Selain itu, penggunaan abu cangkang sawit juga menjadi salah satu upaya pemanfaatan limbah industri kelapa sawit yang lebih ramah lingkungan.



Gambar 2. 2 Abu Cangkang Sawit

2.8 Kuat geser tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan gaya yang bekerja secara sejajar pada bidang tanah sehingga tanah tidak mengalami pergeseran atau keruntuhan. Parameter ini sangat penting dalam bidang teknik sipil dan geoteknik karena menentukan tingkat kestabilan tanah terhadap beban konstruksi, seperti bangunan, jalan, maupun lereng. Besarnya kuat geser dipengaruhi oleh gaya kohesi dan gesekan antar butir tanah.

kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2002):

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser
- b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpelesep satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (bearing capacity), tegangan tanah terhadap dinding

penahan (earth preassure) dan kestabilan lereng (slope stability). Penambahan kapur dan abu cangkang sawit dapat meningkatkan kuat geser tanah melalui:

- a. Peningkatan kohesi (c)
- b. Perubahan struktur tanah menjadi lebih stabil
- c. Penurunan kadar air efektif
- d. Peningkatan ikatan antar partikel

2.9 Alat Penelitian dan Fungsinya

1. Cangkung

Cangkul digunakan untuk menggali, membersihkan tanah dari rumput ataupun untuk meratakan tanah. Cangkul masih digunakan hingga kini. Pekerjaan yang lebih berat biasanya menggunakan bajak. Cangkul biasanya terbuat dari kayu dan besi.

2. Pipa

Pipa paralon digunakan untuk mengambil sample tanah asli di lapangan dan untuk membantu sample tanah yang relatif tidak terganggu untuk menentukan kadar air yang diperoleh di lapangan

3. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat sampel tanah lempung, kapur, abu cangkang sawit, dan benda uji dengan tingkat yang tinggi. Alat ini sangat penting dalam proses penelitian ini karena setiap pengujian laboratorium memerlukan data berat yang akurat agar hasil perhitungan dapat dilakukan dengan benar. Timbangan digital juga digunakan dalam pengujian kadar air, pengujian berat jenis, dan penentuan komposisi campuran tanah dengan bahan stabilitasi.

4. Oven Laboraturium

Oven digunakan untuk mengeringkan sampel tanah pada suhu tertentu, yaitu sekitar 105°C - 110°C selama $\pm$ 24 jam. Proses pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam tanah sehingga diperoleh berat tanah kering oven. Data tersebut digunakan dalam perhitungan kadar air tanah. Selain itu,

oven juga membantu menjaga konsistensi kondisi sampel sebelum dilakukan pengujian lainnya.

5. Alat Batas Atterberg

Alat Batas Atterberg (Atterberg Limit Device) adalah perangkat laboratorium penguji tanah. Alat ini mengukur kadar air kritis tanah berbutir halus (seperti lempung dan lanau) saat mengalami transisi fase dari kondisi cair, plastis, semi-padat, hingga padat dan untuk menentukan sifat plastisitas tanah.

Pengujian ini dibagi berdasarkan tiga batas konsistensi tanah yaitu:

- a. Batas Cair (Liquid Limit): Menggunakan Alat Casagrande (cawan kuningan mekanis yang digerakkan oleh engkol), alat pembuat alur (grooving tool), dan cawan kadar air.
- b. Batas Plastis (Plastic Limit): Menggunakan pelat kaca sebagai alas untuk menggulung sampel tanah secara manual dan batang pembanding diameter (3 mm).
- c. Batas Susut (Shrinkage Limit): Menggunakan cawan porselen, air raksa atau air, dan oven pengering untuk mengukur
- d. penyusutan volume maksimum tanah.

6. Piknometer

Piknometer (Pycnometer) adalah alat laboratorium berbentuk botol kaca khusus yang digunakan untuk mengukur nilai massa jenis (densitas) atau berat jenis (specific gravity) dari suatu fluida (cair) maupun padatan berupa tepung atau butiran tanah. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip volume tetap yang sangat presisi. Ketika penutup piknometer dipasang, kelebihan cairan akan keluar melalui pipa kapiler di tengah tutupnya, memastikan volume zat di dalamnya selalu sama.

7. Skraf besi

Alat perata/pengerok (scraper) di laboratorium/pertukangan, Meratakan tanah: Memotong kelebihan sampel pada cetakan (mold) uji pemadatan. Mencampur sampel: Mengaduk tanah dan air saat uji batas Atterberg. Membersihkan alat: Mengerok sisa lempung yang menempel di pelat kaca.

8. Palu karet

Palu karet (rubber mallet) adalah perkakas tangan pemukul berkepala karet elastis. Alat ini dirancang memberikan ketukan kuat namun aman. Permukaan benda yang dipukul tidak akan rusak. Alat ini berfungsi untuk Menghancurkan gumpalan tanah: Menghancurkan tanah kering tanpa memecahkan butiran agregat, Uji Slump Test: Mengetuk cetakan kerucut untuk memadatkan adonan beton. Mengeluarkan rongga udara, Menghilangkan jebakan udara pada cetakan uji beton, Melonggarkan cetakan (mold): Melepaskan cetakan tanah padat tanpa merusak alat.

9. Saringan no 200

Saringan No. 200 (Mesh 200) adalah saringan laboratorium standar yang memiliki ukuran pembukaan lubang (apertur) sebesar 0,075 milimeter (75 mikron). Fungsi dari saringan no 200 ialah Pemisah Klasifikasi Tanah: anah yang lolos saringan No. 200 dikategorikan sebagai tanah berbutir halus (lempung/lanau). Tanah yang tertahan di atasnya dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar (pasir/kerikil). Analisis Hidrometer: Tanah yang lolos dari saringan ini akan dilanjutkan ke pengujian hidrometer untuk mengetahui distribusi ukuran partikel lempung dan lanau secara spesifik. Uji Cuci Saringan (Wash Grading): Digunakan untuk mencuci sampel tanah guna menghilangkan lumpur atau partikel lempung yang menempel pada agregat kasar.

10. Saringan no 4 (4,75)

Saringan No. 4 adalah ayakan standar laboratorium dengan ukuran bukaan (mesh) sebesar (4,75). Saringan ini umumnya digunakan dalam pengujian teknik sipil (analisis saringan/sieve analysis) untuk memisahkan agregat kasar dan agregat halus. Fungsi Utama: Batas pemisah agregat. Material yang tertahan saringan No. 4 diklasifikasikan sebagai agregat kasar (kerikil/batu pecah), sedangkan material yang lolos diklasifikasikan sebagai agregat halus (pasir).

11. Sarung tangan

Sarung tangan adalah alat pelindung diri (APD) wajib saat melakukan pengujian laboratorium atau analisis saringan agregat. Fungsi di Laboratorium

Teknik Sipil Proteksi fisik: Melindungi tangan dari gesekan agregat kasar, Mencegah luka akibat pinggiran saringan tajam dan Menjaga kebersihan sampel dari minyak tangan.

12. Cawan kadar air

Pengujian kadar air (menggunakan wadah yang disebut cawan atau talam) dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan air di dalam sampel tanah atau agregat hasil saringan. Metode standar laboratorium yang digunakan adalah metode pengeringan oven (gravimetri) sesuai SNI 1971:2011 (untuk agregat) atau SNI 03-1965-1990 (untuk tanah).

13. Loyang 20 x 20

Loyang berukuran 20 x 20 cm adalah wadah penampung sampel sedang yang sangat praktis untuk pengujian tanah atau agregat skala kecil di laboratorium teknik sipil. Ukuran kotaknya yang ringkas membuatnya sangat efisien untuk dimasukkan ke dalam oven laboratorium standar tanpa memakan banyak ruang.

14. Cetakan Benda Uji

Digunakan untuk membuat sampel atau spesimen beton sebelum dilakukan pengujian. Pengujian ini sangat krusial untuk memastikan bahwa mutu campuran yang diproduksi di lapangan sudah memenuhi standar kekuatan yang direncanakan.

15. 15. Masker

Masker berfungsi sebagai alat perlindungan diri untuk menyaring udara dari partikel berbahaya seperti debu, virus, bakteri, polusi asap, hingga uap kimia.

16. Alat Uji Direct Hear

Alat uji direct shear (atau alat uji geser langsung) adalah perangkat laboratorium teknik sipil yang berfungsi untuk mengukur kekuatan geser (shear strength) sampel tanah. dapat mengetahui seberapa besar kemampuan tanah dalam menahan beban horizontal sebelum tanah tersebut mengalami keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser horizontalnya.

17. Karung

Sebagai wadah pembungkus atau pengemas massal yang dirancang untuk menampung, menyimpan, dan melindungi komoditas berat selama proses pengangkutan (distribusi) maupun penyimpanan di gudang.

2.10 Bahan penelitian dan fungsinya

1. Tanah lempung ekspansif

Tanah lempung ekspansif (*expansive clay soil*) adalah jenis tanah lempung yang memiliki sifat kembang-susut (*shrink-swell*) yang sangat tinggi akibat pengaruh perubahan kadar air. karena kekuatannya yang tidak stabil. Saat musim hujan, tanah ini menyerap air, membengkak, dan mendorong struktur di atasnya. Sebaliknya, saat musim kemarau, tanah akan menyusut drastis hingga retak-retak dalam. Sifat ini disebabkan oleh dominasi mineral golongan smectite, khususnya Montmorillonite.



Gambar 2. 3 Tanah Lempung Ekspansif

2. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit (*palm oil kernel shell ash*) adalah limbah padat hasil pembakaran cangkang dan serabut kelapa sawit di dalam tangki pemanas (*boiler*) pabrik kelapa sawit. Meskipun awalnya dianggap sebagai limbah tak berguna yang menumpuk, material ini kaya akan kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), serta unsur hara esensial. Berkat kandungan kimia tersebut, abu cangkang sawit memiliki fungsi yang sangat bernilai tinggi di berbagai sektor industri.



Gambar 2. 4 Abu Cangkang Sawit

3. Kapur

Kapur (*kalsium karbonat* atau *kalsium oksida*) berfungsi utama sebagai bahan pengikat material bangunan, penetral keasaman, dan pengkondisi tanah. Di alam, kapur diperoleh dari batuan sedimen (batu kapur/gamping) yang kemudian diproses melalui pembakaran atau penggilingan untuk menghasilkan berbagai jenis kapur.

Berfungsi menurunkan plastisitas dan sifat kembang-susut tanah lempung ekspansif. Reaksi kimia antara kapur dan silika tanah meniptakan ikatan batuan baru yang kokoh sebagai tanah dasar jalan (*subgrade*).



Gambar 2. 5 Kapur Tohor

4. Air

Air (H_2O) adalah senyawa kimia alami yang berfungsi utama sebagai pelarut universal, media reaksi kimia, dan penopang utama kehidupan. Di bumi, air memegang peran vital di segala sektor, mulai dari biologis, domestik, hingga rekayasa teknik.



Gambar 2. 6 Air

2.11 Variasi Campuran Penelitian

Dalam penelitian ini di gunakan beberapa variasi campuran kapur dan abu cangkang sawit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat geser tanah lempung ekspansif

Contoh variasi campuran:

- 1) Tanah asli (0% kapur + 0% abu cangkang sawit)
- 2) Tanah + 5% kapur + 6% abu cangkang sawit
- 3) Tanah + 15% kapur + 7 % abu cangkang sawit
- 4) Tanah + 20 % kapur + 30 % abu cangkang sawit

2.12 Pengujian karakteristik tanah

Pengujian karakteristik tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah asli sebelum distabiitas. Pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Analisis saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah:

1) Persentase Berat Tertahan

$$\text{Persentase Tertahan (\%)} = \left(\frac{\text{Berat Tertahan}}{\text{Berat Total Sampel}} \right) \times 100\% \quad \text{..... pers1}$$

2) Persentase Kumulatif Tertahan

$$\text{Persentase Kumulatif Tertahan saringan ke-} n = \sum_{i=1}^n \text{Persentase Tertahan saringan} \quad \text{..... pers 2}$$

3) Persentase Berat Lolos

$$\text{Persentase Lolos (\%)} = 100\% - \text{Kumulatif Tertahan (\%)} \quad \dots \text{ pers 3}$$

2. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan dalam tanah sebagai berikut ialah rumusnya:

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad \dots \text{ pers 4}$$

Keterangan:

W_1 = Berat cawan kosong (gram)

W_2 = Berat cawan + sampel tanah basah (gram)

W_3 = Berat cawan + sampel tanah kering setelah di-oven selama 24 jam pada suhu 105°C

3. pengujian berat jenis

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat butiran tanah terhadap berat air, berikut rumusnya:

$$Gs = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad \dots \text{ pers 5}$$

Keterangan:

G_s = berat jenis butiran tanah

(W_1) = Berat piknometer kosong (gram)

(W_1) = Berat piknometer + tanah kering (gram)

(W_3) = Berat piknometer + tanah + air (gram)

(W_3) = Berat piknometer + air (gram)

4. pengujian batas atterbag

Pengujian batas atterbag meliputi ialah:

1. pengujian batas susut (shrinkage limit)
2. batas cair (liquid limit)
3. batas plastis (plastic limit)
4. indeks plastisitas (plasticity indeks)

Rumus pengujian batas atterbag:

- **Rumus kadar air (w)**

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots \text{pers 6}$$

Keterangan:

W = kadar air (100%)

W_w = berat air (gram)

W_s = berat tanah kering (gram)

- **Rumus batas cair (liquid limit)**

$$LL = W_N = 25 \dots\dots\dots \text{pers 7}$$

Keterangan:

LL = Batas cair

W = kadar air yang dipukul sebanyak 25 kali

- **Batas Plastis (plastic limit)**

$$PL = w_1 + w_2 + w_3 + \dots\dots w_n \dots\dots\dots \text{pers 8}$$

Keterangan:

w = kadar air tiap pengujian

n = nilai jumlah pengujian

- **Indeks plastisitas**

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots \text{pers 9}$$

Keterangan:

PI = indeks plastisitas (%)

LL = batas cair (%)

PL = batas plastis (%)

5. Pengujian direct shear

Pengujian Kuat Geser Langsung adalah salah satu metode uji laboratorium tertua dan paling sederhana untuk menentukan parameter kuat geser tanah [SNI 2813:2008]. Pengujian ini menggunakan mesin khusus bernama Direct Shear Apparatus. Jantung dari alat ini adalah Kotak Geser (Shear Box).

Kotak logam tebal ini terbelah secara horizontal menjadi dua bagian yang simetris: bagian atas (statis/diam atau bergerak) dan bagian bawah (didorong secara mekanis).

Parameter yang dicari adalah kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) [SNI 2813:2008]. Keduanya membentuk garis keruntuhan Mohr-Coulomb yang menjadi dasar dalam analisis mekanika tanah, seperti perhitungan daya dukung fondasi, stabilitas lereng, dan tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah

2.13 Pembuatan Benda Uji

1. Tanah Tidak Terganggu (*Undisturbed Soil*)

- a. Metode ini digunakan untuk tanah kohesif (lempung atau lanau) yang diambil langsung dari lapangan menggunakan tabung sampel (thin-walled tube) dengan tujuan mempertahankan struktur asli tanah [SNI 1966:2008, SNI 1967:2008].
- b. Pembersihan Sampel: Keluarkan lilin pelindung pada ujung tabung sampel, lalu dorong tanah keluar menggunakan alat sample extruder secara perlahan sejauh 3–5 cm untuk membuang lapisan tanah ujung yang biasanya sudah terkontaminasi atau rusak.
- c. Pencetakan Awal: Tempatkan cincin cetakan benda uji (sample ring/shear box ring) yang tajam di atas permukaan tanah tegak lurus.
- d. Pemotongan Manual: Iris tanah secara melingkar di sekeliling luar cincin cetakan menggunakan pisau kawat (wire saw) atau pisau spatula tajam. Dorong cincin cetakan ke bawah secara bertahap seiring tanah diiris.
- e. Perataan Permukaan: Setelah seluruh cincin terisi penuh oleh tanah, potong kelebihan tanah di bagian atas dan bawah cincin menggunakan pisau perata (*straightedge*) hingga permukaannya benar-benar rata, halus, dan sejajar dengan tepi cincin.

- f. Penimbangan & Kadar Air: Timbang berat bersih tanah di dalam cincin untuk mencari berat isi tanah awal, dan ambil sisa potongan tanah untuk diuji kadar air awalnya (w) [SNI 03-965-1990].

2. Tanah Terganggu / Tanah Kompaktasi (*Disturbed / Remolded Soil*)

- a. Metode ini digunakan untuk tanah berbutir kasar (pasir) atau tanah yang sengaja dihancurkan untuk mensimulasikan kondisi penimbunan dan pemadatan di lapangan (misalnya untuk timbunan jalan atau bendungan).
- b. Pengeringan & Pengayakan: Tanah dikeringkan di udara terbuka atau oven suhu rendah, lalu ditumbuk menggunakan palu karet hingga butirannya lepas, kemudian diayak melewati saringan No. 4 atau No. 10 (tergantung spesifikasi alat).
- c. Pencampuran Air: Hitung volume kotak geser dan tentukan target kepadatan (dry density) serta kadar air optimum yang ingin dicapai (biasanya mengacu pada hasil uji Compaction / Proctor). Campurkan air suling ke sampel tanah secara merata menggunakan sekop kecil atau spatula.
- d. Pemasangan Pin Pengunci: Pastikan kedua belahan kotak geser (shear box) telah disatukan dan dikunci rapat menggunakan pen engunci agar tidak bergeser saat tanah dipadatkan.
- e. Pemadatan di Dalam Kotak (Tamping): Masukkan tanah basah ke dalam kotak geser dalam beberapa lapisan (biasanya 2 hingga 3 lapisan). Padatkan setiap lapisan menggunakan alat penumbuk kecil (tamper) berpermukaan rata dengan jumlah ketukan yang sama hingga mencapai ketebalan target yang seragam.
- f. Perataan Akhir: Ratakan permukaan atas lapisan terakhir menggunakan spatula agar tegangan vertikal dari mesin dapat tersalurkan secara merata.

2.14 Jurnal Terdahulu

1. Zaini, Hasan, & Jariman (2024)

Penelitian ini membahas stabilisasi tanah lempung kaolinitik menggunakan 6% kapur terhidrasi yang dikombinasikan dengan POFA sebesar 4%, 8%, dan 12%. Pengujian dilakukan dengan beberapa pengujian laboratorium dan pemeraman selama 1, 7, 14, dan 30 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan POFA dan kapur dapat meningkatkan kekuatan tanah dibandingkan tanah tanpa stabilisasi. Nilai undrained shear strength tertinggi sebesar 32,68 kN/m² diperoleh pada campuran 6% kapur + 12% POFA dengan pemeraman 30 hari. Selain itu, kuat tekan bebas meningkat sebesar 185,04% dibandingkan tanah kaolinitik yang tidak distabilisasi.

2. Gazali & Kurniawan (2023)

Penambahan abu cangkang sawit yang dikombinasikan dengan kapur dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah lempung lunak. Campuran yang memberikan hasil kuat geser paling optimal adalah 8% abu cangkang sawit dan 12% kapur, dengan nilai kohesi sebesar 0,26 kg/cm² pada titik I dan 0,28 kg/cm² pada titik II. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi abu cangkang sawit dan kapur dapat digunakan sebagai alternatif bahan stabilisasi untuk meningkatkan parameter kuat geser tanah

Penelitian ini menggunakan abu cangkang sawit sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10%, sedangkan kadar kapur yang digunakan sebesar 12%. Penelitian difokuskan pada pengujian kuat tekan dan kuat geser. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah asli memiliki nilai kohesi sebesar 0,13 kg/cm². Setelah dilakukan stabilisasi, campuran 8% abu cangkang sawit + 12% kapur menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,26 kg/cm² pada titik I dan 0,28 kg/cm² pada titik II.

3. Almuaythir, Zaini, & Hasan (2025)

Berdasarkan penelitian Almuaythir et al. (2025), kombinasi kapur dan silica fume mampu meningkatkan kuat geser tanah lempung ekspansif serta

memperbaiki karakteristik konsolidasi tanah. Campuran dengan kadar 9% kapur dan 9% silica fume memberikan peningkatan kuat geser sekitar 35% dibandingkan tanah tanpa stabilisasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi bahan stabilisasi dapat memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap karakteristik mekanis tanah ekspansif dibandingkan tanah yang tidak diberi bahan stabilisasi

Penelitian ini secara khusus membahas tanah lempung ekspansif yang distabilisasi menggunakan kombinasi kapur dan silica fume. Penelitian menguji pengaruh kombinasi kedua bahan tersebut terhadap kuat geser dan konsolidasi tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kapur dan silica fume meningkatkan kuat geser tanah hingga sekitar 35% dibandingkan tanah tanpa stabilisasi. Campuran 9% kapur + 9% silica fume menghasilkan peningkatan yang signifikan, dengan kuat geser meningkat seiring bertambahnya masa pemeraman.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di laboratorium BAT, sampel tanah lempung ekspansif diambil dari lokasi jakabaring permukiman kampus poltekipar (Jln. Sileberati, Palembang, Sumetara Selatan).



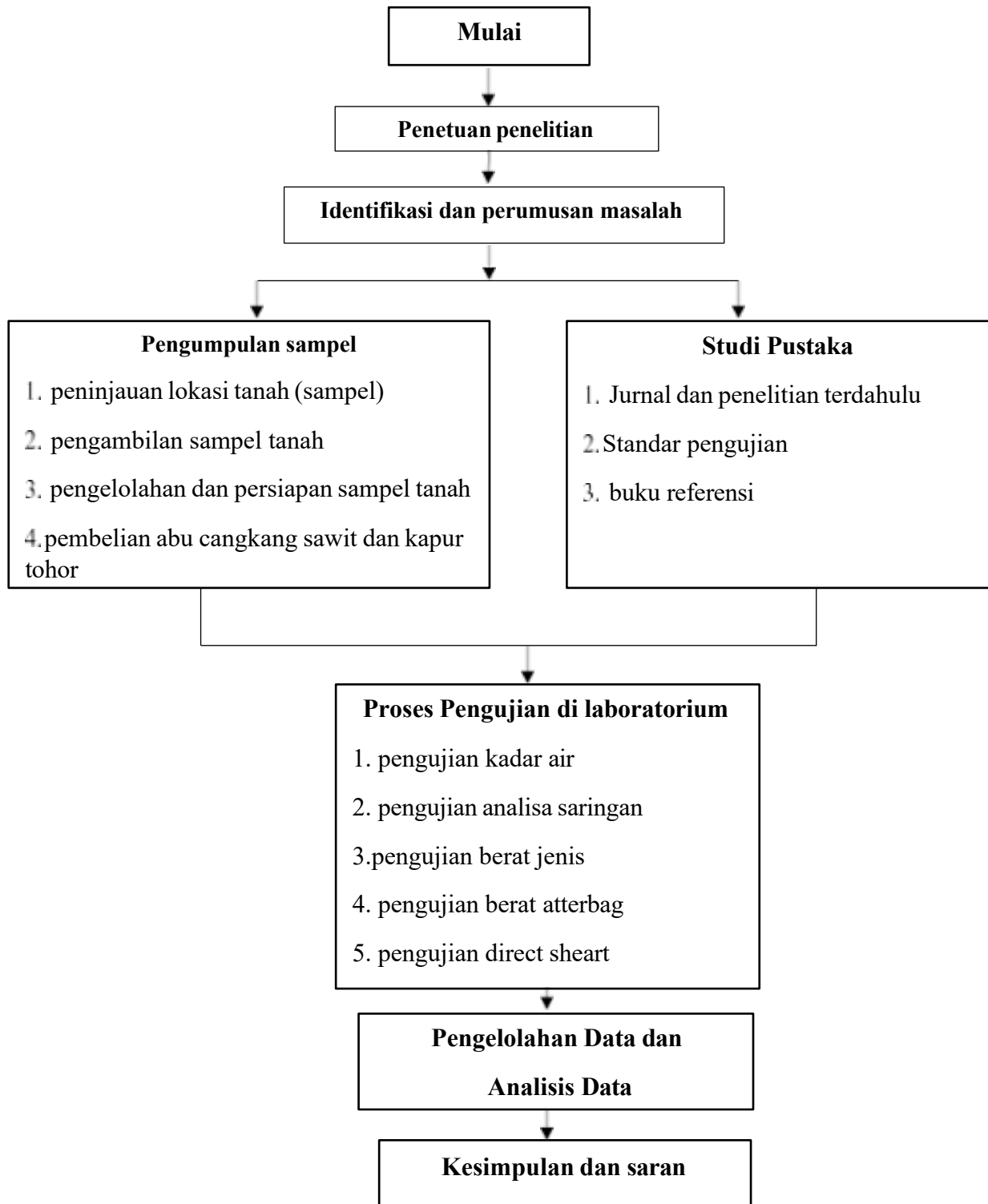
Gambar 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung Ekspansif

3.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan yang meliputi:

1. Studi literatur
2. Pengambilan sampel tanah
3. Persipan alat dan bahan
4. Pengujian karakteritik tana asli
5. Pembuatan variasi campuran
6. Pengujian direct shear
7. Pengelolahan data dan analisis hasil

3.3 Flow chart



Gambar 3. 2 Bagan Penelitian

3.4 Alat dan bahan penelitian

3.4.1 Alat penelitian

Adapun Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



a) Cangkul



b) Pipa Paralon 4 Inci



c) Karung



d) Masker



e) Sarung Tangan



f) Timbangan Digital



g) Oven



h) Alat Batas Atterberg



i) Piknometer



j) Skraf Besi



k) Palu Karet



l) Saringan NO 200



m) Saringan No 4 (4,75)



n) Cawa Kadar Air



o) Cetakan Benda Uji



p) Loyang 20 X 20



q) Alat Uji Direct Shear



r) Mold



s) Pelat Kaca



t) Meteran



u) Spatula Pengaduk



v) Pipet



w) Pitnometer



x) Lap

Gambar 3. 3 Alat Yang Digunakan Untuk Penelitian

3.4.2 Bahan-bahan penelitian

Adapun bahan-bahan penelitian di bawah ini ialah



- a) Tanah lempung ekspansif asli belum melewati tahap pengeringan dan Analisa saringan b) Tanah lempung ekspansif yang telah melewati pengeringan dan lolos analisa saringan



c) Abu cangkang sawit



d) Kapur tohor



e) Air

Gambar 3. 4 Bahan-Bahan Penelitian

3.5 Pengambilan sampel

Teknik pengambilan sampel atau sampling adalah. Pengambilan sampel sangat penting dalam penelitian, terutama ketika jumlah populasi terlalu besar untuk diteliti seluruhnya. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi yang memiliki karakteristik tanah lempung ekspansif. Sampel tanah diambil pada kedalaman 50 cm, kemudian dimasukkan ke dalam pipa agar kadar air alami tanah tetap terjaga selama proses transportasi menuju laboratorium.



a) Pembersihan lahan, dengan memastikan rumput tercabut dan tidak ada sampah /plastic



b) Penggalian tanah menggunakan cangkul



c) pengambilan sampel tanah asli dengan kedalaman 50 cm



d) pengambilan sampel tanah asli

Gambar 3. 5 Pengambilan Sampel

3.6 Persiapan Sampel Penelitian

Sampel tanah yang telah diambil dan dimasukkan ke dalam karung kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari dan di oven lalu dihancurkan menggunakan palu karet secara manual tanpa merusak butiran aslinya.



a) penjemuran sampel tanah di bawah sinar matahari



b) metode pengeringan di oven



c) dihancurkan menggunakan palu karet



d) memastikan tekstur tidak rusak dari butiran asli

Gambar 3. 6 Proses Persiapan Sampel

3.7 Hasil Analisa saringan

Dari hasil Pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa sebagian besar butiran tanah lolos saringan No.200 dan analisis saringan No 04 (4,47) sehingga tanah tergolong tanah berbutir halus. Analisis saringan merupakan metode pengujian di laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pada suatu sampel tanah. Pengujian ini menggunakan serangkaian saringan yang memiliki ukuran bukaan berbeda sehingga dapat diperoleh persentase butiran

yang tertahan maupun yang lolos pada setiap saringan. Dalam proses klasifikasi tanah, saringan No. 4 dan No. 200 berperan sebagai batas utama untuk membedakan fraksi kerikil, pasir, serta butiran halus.

Saringan No. 4 memiliki ukuran bukaan sebesar 4,75 mm yang digunakan untuk memisahkan butiran kerikil dari butiran pasir. Sebelum pengujian dimulai, sampel tanah terlebih dahulu dikeringkan hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengujian. Sampel selanjutnya dimasukkan ke dalam susunan saringan dan digetarkan menggunakan mesin pengayak selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses pengayakan selesai, berat tanah yang tertahan pada saringan No. 4 ditimbang dan dicatat sebagai dasar untuk menghitung persentase butiran yang berukuran lebih besar dari 4,75 mm atau termasuk dalam fraksi kerikil. Adapun material yang lolos dari saringan No. 4 akan digunakan untuk analisis lanjutan terhadap fraksi pasir dan butiran halus.

Tahap berikutnya dilakukan dengan menggunakan saringan No. 200 yang memiliki ukuran bukaan sebesar 0,075 mm. Saringan ini berfungsi untuk memisahkan butiran halus, seperti lanau dan lempung, dari butiran pasir. Sampel yang telah melewati saringan No. 4 kemudian diayak hingga mencapai saringan No. 200. Persentase material yang lolos pada saringan No. 200 menunjukkan jumlah kandungan butiran halus dalam sampel tanah. Semakin besar persentase tanah yang lolos saringan No. 200, semakin tinggi kandungan lanau dan lempung yang terdapat pada tanah tersebut. Sebaliknya, apabila persentase yang lolos relatif kecil, maka komposisi tanah lebih didominasi oleh butiran kasar, seperti pasir dan kerikil.

a) Bahan



a) dihancurkan menggunakan palu karet



b) memastikan tekstur tidak rusak dari butiran asli

Gambar 3. 7 Bahan Yang Digunakan Untuk Pengujian Analisa Saringan No 200 Dan No 04 (4,75)



a) saringan nomor 200 sebanyak 2,5 kg



b) saringan 04 sebanyak 40kg

Gambar 3. 8 Analisa Saringan 200 Dan Saringan 04

Data yang diperoleh dari pengujian saringan No. 4 dan No. 200 digunakan sebagai dasar dalam menentukan klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS maupun AASHTO. Selain itu, hasil analisis distribusi ukuran butiran dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi berbagai karakteristik teknik tanah, antara lain tingkat kepadatan, kemampuan meloloskan air (permeabilitas), stabilitas, serta daya dukung tanah. Dengan demikian, analisis saringan menjadi salah satu pengujian

yang sangat penting dalam penyelidikan sifat fisik tanah dan sebagai acuan dalam perencanaan maupun analisis geoteknik.

3.8 Hasil pengujian kadar air

Pengujian kadar air merupakan salah satu pengujian laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui besarnya kandungan air dalam suatu sampel tanah. Nilai kadar air diperoleh dari perbandingan antara berat air yang terkandung di dalam tanah dengan berat tanah dalam kondisi kering oven, kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Parameter ini memiliki peranan yang penting karena kandungan air dapat memengaruhi karakteristik fisik dan mekanis tanah, seperti kepadatan, plastisitas, kuat geser, kompresibilitas, serta kemampuan tanah dalam menahan beban.

Tahap awal pengujian diawali dengan membersihkan dan menimbang cawan kadar air untuk memperoleh berat cawan kosong. Setelah itu, sampel tanah dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang sehingga diperoleh berat cawan beserta tanah basah. Sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105–110°C selama kurang lebih 24 jam atau hingga beratnya tidak mengalami perubahan lagi. Setelah proses pengeringan selesai, cawan dikeluarkan dari oven dan didinginkan di dalam desikator agar terhindar dari penyerapan kelembapan udara. Selanjutnya, cawan yang berisi tanah kering ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir.

Nilai kadar air yang diperoleh dari pengujian menggambarkan kondisi kelembapan alami tanah yang berpengaruh terhadap perilaku tanah ketika menerima pembebanan. Pada tanah lempung ekspansif, peningkatan kadar air umumnya menyebabkan terjadinya pengembangan (swelling) serta penurunan nilai kuat geser. Sebaliknya, kadar air yang lebih rendah cenderung meningkatkan kekuatan tanah hingga mencapai kondisi optimum. Oleh karena itu, pengujian kadar air menjadi salah satu parameter penting dalam penelitian geoteknik untuk mengidentifikasi karakteristik tanah sekaligus mengevaluasi efektivitas penggunaan bahan stabilisasi, seperti kapur dan abu cangkang sawit, dalam meningkatkan sifat teknis tanah.

a) bahan



Gambar 3. 9 Tanah Asli Lempung Ekspansif

1. Langkah – Langkah Pengujian

a) Proses Penimbangan Cawan Kosong

1. siapkan cawan yang bersih dan kering
2. timbangkan berat cawan kosong menggunakan timbangan digital



a) Cawan ke 1 (berat kosong 10 g)



b) cawan ke 2 (berat kosong 10 g)

Gambar 3. 10 Penimbangan Cawan Kosong

b) Proses Memasukan Sampel Tanah Basah (Tidak Terganggu) Ke Dalam Cawan

1. masukan tanah basah (tidak terganggu) ke dalam cawan



Gambar 3. 11 Memasukan Tanah Basah Ke Dalam Cawan

2. Timbang tanah basah (tidak terganggu) beserta cawan



a) Cawan ke 1 (berat tanah basah 40 g)



b) Cawan ke 2 (berat tanah basah 48 g)

Gambar 3. 12 Penimbangan Tanah Basah Beserta Cawan

c) Proses Pengeringan Tanah

1. Masukkan tanah basah beserta cawan ke dalam oven.



Gambar 3. 13 memasukan sampel ke dalam oven

2. kemudian tunggu berapa menit setelah Panaskan pada suhu: 105°C – 110°C dan lama pengerjaan ± 24 jam dengan tujuan pengeringan untuk menghilangkan kandungan air dalam tanah



Gambar 3. 14 Suhu Oven 105°C – 110°C Dan Lama Pengerjaan $\pm$ 24 Jam

d) Proses Menimbang Tanah Kering

1. Setelah oven selesai, dinginkan cawan
2. Timbang kembali cawan beserta tanah kering.

Tabel 3. 1 Berat tanah kering setelah di oven 105°C – 110 dan lama pengerjaan $\pm$ 24 jam

CAWAN	BERAT TANAH
1	34 Kg
2	41 Kg
3	32 Kg
4	43 Kg

3.9 Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis (Specific Gravity/Gs) merupakan salah satu pengujian dasar dalam mekanika tanah yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air pada volume yang sama dan suhu tertentu. Nilai berat jenis menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan karakteristik fisik tanah serta digunakan sebagai dasar dalam berbagai perhitungan, seperti angka pori, porositas, derajat kejenuhan, dan hubungan berat-volume tanah.

Tahapan pengujian diawali dengan menyiapkan peralatan yang meliputi piknometer, timbangan digital, oven, termometer, air suling (distilled water), serta sampel tanah yang telah dikeringkan. Sampel tanah terlebih dahulu dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar 105–110°C hingga mencapai berat konstan. Setelah

itu, tanah didinginkan di dalam desikator agar tidak menyerap kelembapan udara sebelum dilakukan penimbangan.

a) Proses Menimbang Piknometer Kosong

1. menimbang piknometer kosong beserta tutupnya.



Gambar 3. 15 Timbang Piknometer Kosong

b) Proses Menimbang Piknometer Berisi Sampel

1. Untuk sampel padat, Isi tanah ke piknometer dengan batas $\frac{3}{4}$, lalu di timbang sejumlah sampel kering.



Gambar 3. 16 Menimbang Piknometer Berisi Sampel

2. Tambahkan air hingga $\frac{3}{4}$ piknometer menggunakan pipet



Gambar 3. 17 Mengisi Air Ke Piknometer

3. Proses Menimbang Piknometer Berisi Air



Gambar 3. 18 Mengisi Air Di Piknometer Dan Menimbang

4. Bersihkan piknometer Pastikan bersih, lalu di isi dengan air sampai penuh kemudian di sumbat menggunakan tutup dari piknometer kemudian timbang dan ukur suhu menggunakan thermometer

a) Membersihkan Dan Mengisi Air Pada Piknometer



b) Menyumbat air di piknometer menggunakan tutup dari piknometer



Gambar 3. 19 Berat Jenis piknometer berisi air dengan berat

3.10 Pengujian Batas Atterberg

a) Pengujian Batas Cair (Liquid Limit)

1. Siapkan tanah sampel lolos saringan No. 40 secukupnya
2. Mencampur tanah dengan air hingga menjadi pasta homogen (sampai tidak terasa butiran kasar)



a) Mencampur tanah dan air



b) Tanah yang sudah melewati pengadukan hingga menjadi homogen

Gambar 3. 20 Proses Pencampuran Tanah Dan Air

3. Masukkan tanah homogen ke dalam mangkuk alat casagrande, lalu ratakan



Gambar 3. 21 Tanah Di Masukan Ke Alat Casgrandle

4. Selanjutnya buat alur di bagian tengah sampel menggunakan alat dari set Casagrande



a) Membuat alur menggunakan alat dari set Casagrande



b) Alur yang telah di buat

Gambar 3. 22 Membuat Alur di Sampel

5. Putar alat casagrande sampai sampel merapat kembali, dengan catatan jika sampel kembali rapat di bawah 25 ketukan maka untuk sampel selanjutnya wajib di tambahkan pasir, dan jika sampel kembali rapat lebih dari 25 ketukan maka sampel selanjutnya wajib ditambahkan air



a) Sampel sebelum mendapatkan ketukan



b) Sampel setelah di ketuk

Gambar 3. 23 Perbedaan Hasil Setelah Dan Sebelum si Ketuk

6. Ambil sebagian sampel kemudian masukkan ke cawan lalu di timbang kemudian di oven hingga 24 jam, lalu timbang kembali sampel tersebut



a) ambil sampel masukan ke cawan lalu di timbang

b) Masukan sampel ke oven

c) Di oven selama 24 jam

Gambar 3. 24 Menimbang Sampel Dan Memasukan Oven Selama 24 Jam

b) Pengujian Plastisitas (Plasticity)

1. Siapkan 2 buah cawan, lalu timbang cawan kosong. Ambil sebagian tanah yang sudah dinyatakan plastis dan homogen.
2. Gulung tanah di atas pelat kaca atau permukaan datar dengan telapak tangan,



Gambar 3. 25 Memnggulung Sampel Di Atas Pelat Kaca

3. Kemudian masukkan ke cawan lalu timbang, lalu masukkan ke dalam oven hingga 24 jam. Setelah sampel keluar dari oven, lalu timbang kembali cawan beserta sampelnya



a) Berat sampel A



b) Berat sampel B

Gambar 3. 26 Menimbang Sebelum Dan Sesudah di Masukan Oven

3.11 Pengujian Kuat Geser

Analisis kuat geser tanah pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian Direct Shear Test dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, yaitu hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal yang membentuk garis linier. Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan geser maksimum pada setiap variasi tegangan normal, kemudian data tersebut diplot dengan grafik untuk menentukan parameter kuat geser tanah berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai kohesi diperoleh dari titik potong garis terhadap sumbu tegangan geser, sedangkan sudut geser dalam diperoleh dari kemiringan garis hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser.

1. Sampel tanah disiapkan sesuai ukuran shear box dan dipasang pada alat Direct Shear Digital.
2. Batu berpori (porous stone), kertas saring, dan pelat penekan dipasang pada bagian atas dan bawah sampel untuk memastikan distribusi beban merata.
3. Beban normal diberikan pada sampel sesuai variasi pembebanan yang telah ditentukan.

4. Setelah beban normal tercapai, alat dioperasikan sehingga bagian bawah shear box bergeser secara horizontal dengan kecepatan konstan hingga sampel mengalami keruntuhan.
5. Selama proses pengujian, data gaya geser, perpindahan horizontal, dan perpindahan vertikal direkam secara otomatis oleh sistem digital.
6. Pengujian diulangi untuk setiap variasi beban normal yang telah ditetapkan.
7. Data hasil pengujian diolah dengan menghitung tegangan geser maksimum pada masing-masing beban normal, kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser.
8. Parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), ditentukan berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb menggunakan persamaan

3.11.1 Pengujian proctor standar (PTS)

a. tahapan pengujian proctor standar



memasukkan tanah asli ke dalam wadah



mempersiapkan bahan-bahan



Masukan kapur dan abu cangkang Sawit



masukkan air sebanyak 300 ml ke dalam wadah



Masukkan campuran yang telah di aduk



setelah di cetak ditimbang tanah + ring Ke dalam mold dan di timbang



Timbang sampel yang telah di cetak (105 g)

Gambar 3. 27 pengujian proctor sederhana (pts)

Berdasarkan uji pengujian tes proctor sederhana (pts) berikut table rencana variasi campuran yaitu pada table 3.2

Tabel 3. 2 rencana variasi campuran

No	Tanah	Tanah	Kapur	ACS
1	Tanah asli	100%	0%	0%
2	Tanah asli	89%	5%	6%
3	Tanah asli	78%	15%	7%
4	Tanah asli	50%	20%	30%

b. Menghitung volume sampel

Sebelum dilakukan pengujian Direct Shear Test, benda uji terlebih dahulu diukur dimensi dan beratnya. Diameter dan tinggi benda uji diukur menggunakan jangka sorong (vernier caliper) dengan ketelitian sesuai spesifikasi alat, sedangkan berat benda uji ditentukan menggunakan timbangan digital. Volume benda uji dihitung berdasarkan hasil pengukuran diameter dan tinggi dengan menggunakan rumus volume silinder sebagai berikut:



a. Berat Sampel b. Diameter Sampel c. Tinggi Sampel

Gambar 3. 28 Menghitung Volume Sampel

3.11.2 Direct sheart

Pengujian Direct Shear dilakukan untuk menentukan kuat geser tanah dengan memberikan beban normal dan gaya geser pada benda uji. Sampel tanah yang telah dipersiapkan ditempatkan ke dalam shear box, kemudian permukaannya diratakan dan alat dirakit sesuai prosedur. Setelah itu, beban normal dipasang sesuai variasi beban yang telah ditentukan dan didiamkan beberapa saat agar beban bekerja secara merata pada sampel. Selanjutnya, mesin Direct Shear dioperasikan dengan menggerakkan bagian bawah shear box secara horizontal pada kecepatan konstan. Selama proses penggeseran, nilai gaya geser dan perpindahan horizontal diamati serta dicatat secara berkala hingga sampel mengalami keruntuhan atau mencapai batas perpindahan yang ditentukan. Pengujian diulangi untuk setiap variasi beban normal. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan antara tegangan

normal dan tegangan geser sehingga diperoleh parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

a) Cara Kerja Pengujian Direct Shear

1. Siapkan alat Direct Shear, benda uji tanah, serta seluruh perlengkapan pengujian lalu pasang sampel tanah ke dalam shear box, kemudian Rakit shear box dan pasang pada alat Direct Shear dengan benar.



Gambar 3. 29 Persiapan benda Uji direct shear

2. Berikan beban normal sesuai dengan variasi beban yang telah ditentukan. Atur kecepatan pergeseran pada alat sesuai dengan standar atau ketentuan praktikum.



Gambar 3. 30 Memberi beban normal pada pengujian direct shear

3. Jalankan alat sehingga bagian bawah shear box bergerak secara horizontal dan memberikan gaya geser pada sampel.

4. Amati dan catat nilai gaya geser serta perpindahan horizontal selama pengujian hingga sampel mengalami keruntuhan atau mencapai perpindahan maksimum.
5. Hentikan alat setelah pengujian selesai, kemudian lepaskan sampel dari shear box.



sampel 1 tanah asli



sampel 2 kapur 5% + ACS 6%



**Sampel 3 kapur 15% + ACS
7%**



**sampel 4 kapur 30% + ACS
20%**

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Analisis Saringan

1. Analisa Saringan No. 4 (4,75 mm)

Saringan No. 20

Diketahui

- Total seluruh sampel = 90 kg
- Total saringan No. 04 (4,75 m m) dengan total lolos 50 kg, dan Berat tertahan = 40 kg
- Saringan No. 200 (0,075 mm) dengan total lolos = 2,5 kg
- Persentase Analisa berat tertahan pada setiap saringan dihitung menggunakan pers 1 berikut :

Rumus Berat Tertahan:

$$\begin{aligned}\text{Berat Tertahan} &= \text{Berat Total} - \text{Berat Lolos} \\ &= 90 - 50 \\ &= 40 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Persentase Berat Tertahan pada setiap saringan dihitung menggunakan per 2 sebagai berikut

Rumus Persentase Tertahan:

$$\begin{aligned}\% \text{ Tertahan} &= \frac{\text{Berat Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{40}{90} \times 100\% \\ &= 44,44\%\end{aligned}$$

- Persentase berat lolos pada setiap saringan dihitung menggunakan pers 3 sebagai berikut:

Rumus Persentase Lolos

$$\begin{aligned}\% \text{ lolos} &= \frac{\text{Berat Tanah Tertahan}}{\text{Berat Total Sampel}} \times 100 \% \\ \% \text{ lolos} &= \frac{50}{90} \times 100 \% \\ \% \text{ lolos} &= 55,56 \%\end{aligned}$$

2. Analisis Saringan No. 200 (0,075 mm)

- Persentase Analisa berat tertahan pada setiap saringan dihitung menggunakan pers 1 berikut :

Rumus Persentase Tertahan:

$$\begin{aligned}\% \text{ Tertahan} &= 100\% - \% \text{ Lolos} \\ &= 100\% - 2,78\% \\ &= 97,22\%\end{aligned}$$

- Persentase Berat Tertahan pada setiap saringan dihitung menggunakan pers 2 sebagai berikut

Rumus Berat Tertahan:

$$\begin{aligned}\text{Berat Tertahan} &= 97,22\% \times 90 \text{ kg} \\ &= 87,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Persentase berat lolos pada setiap saringan dihitung menggunakan pers 3 sebagai berikut

Rumus Persentase Lolos:

$$\begin{aligned}\% \text{ Lolos} &= \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \\ &= \frac{2,5}{90} \times 100\% \\ &= 2,78\%\end{aligned}$$

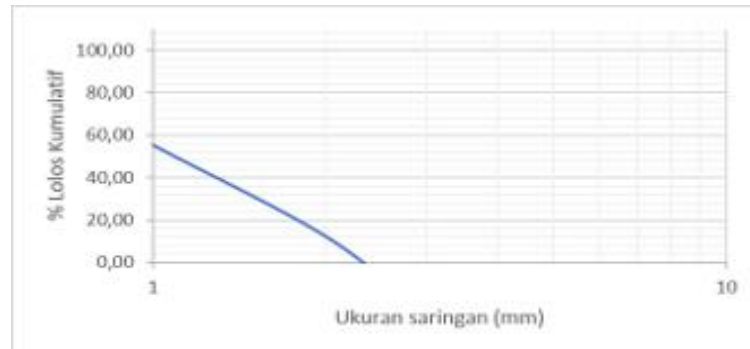
3. Hasil Pengujian

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Analisis Saringan

Saringan ASTM	Ukuran (mm)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lolos
No. 4	4,75	40	50	44,44%	55,5%
No. 200	0,075	57,5	2,5	97,22%	2,78%

4. Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Tabel 4. 2 Kurva Distribusi Ukuran Butiran



Berdasarkan hasil analisis saringan pada Tabel 4.3 diperoleh bahwa seluruh butiran tanah lolos pada saringan No. 4 (4,75 mm) dan No. 10 (2,00 mm), yang menunjukkan bahwa sampel tidak mengandung fraksi kerikil. Persentase lolos mulai menurun pada saringan No. 20 hingga No. 200 seiring semakin kecilnya ukuran bukaan saringan.

Pada saringan No. 200 (0,075 mm) diperoleh persentase kumulatif lolos sebesar 55%, sedangkan 45% tertahan. Berdasarkan ketentuan USCS, apabila lebih dari 50% berat sampel lolos saringan No. 200, maka tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus (fine-grained soil). Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah penelitian termasuk dalam kelompok tanah berbutir halus yang selanjutnya diklasifikasikan lebih lanjut menggunakan data batas Atterberg.

Kurva distribusi ukuran butiran pada Gambar 4.1 juga menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran saringan maka persentase kumulatif lolos semakin menurun. Pola kurva ini menggambarkan bahwa sebagian besar material penyusun tanah berada pada fraksi pasir halus hingga lanau dan lempung.

4.2 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

1. Nilai Kadar air tanah dapat dihitung menggunakan pers 4 sebagai berikut:
Cawan B 13

Diketahui:

- a) Berat air = 21,90 gram
- b) Berat tanah kering = 20,40 gram

Maka,

$$w = \frac{21,90}{20,40} \times 100\%$$

$$w = 107,35\%$$

Cawan B14

Diketahui:

- a) Berat air = 24,80 gram
- b) Berat tanah kering = 25,90 gram

Maka,

$$w = \frac{24,80}{25,90} \times 100\%$$

$$w = 95,75\%$$

Rata-rata kadar air diperoleh sebagai berikut.

$$w = \frac{107,35 + 95,75}{2}$$

$$w = 101,55\%$$

2. Hasil Pengujian

Tabel 4. 3 Pengujian kadar air

No.	Nomor Cawan			B13	B14
1.	Berat Cawan (W3)		(gr)	10,00	8,50
2.	Berat Cawan + Tanah Basah (W1)		(gr)	64,60	59,20
3.	Berat Cawan + Tanah Kering (W2)		(gr)	42,70	34,40
4.	Berat Air = (2) – (3)		(gr)	21,90	24,80
5.	Berat Tanah Kering = (3) – (1)		(gr)	20,40	25,90
6.	Kadar Air (w) = (4)/(5) x 100%		%	107,35	95,75
7.	Rata-Rata Kadar Air		%	101,55	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 diperoleh kadar air sebesar 107,35% pada cawan B13 dan 95,75% pada cawan B14, sehingga diperoleh rata-rata kadar air alami tanah sebesar 101,55%. Nilai kadar air yang melebihi 100% menunjukkan bahwa berat air yang terkandung di dalam tanah lebih besar daripada berat butiran tanah kering. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa tanah memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan air dalam jumlah yang sangat tinggi. Karakteristik ini umumnya dijumpai pada tanah lempung lunak atau tanah lempung ekspansif yang mempunyai pori-pori halus dan luas permukaan partikel yang besar sehingga mampu mengikat air dalam jumlah banyak. Kandungan air yang tinggi menyebabkan ikatan antarpartikel tanah menjadi lebih lemah sehingga tanah cenderung bersifat lunak, mudah mengalami deformasi, dan memiliki daya dukung yang rendah. Oleh karena itu, kondisi awal tanah ini menunjukkan perlunya dilakukan upaya stabilisasi untuk meningkatkan sifat mekanik tanah.

4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis (Specific Gravity)

1. Pengujian berat jenis dilakukan menggunakan metode piknometer sesuai ASTM D854. Nilai berat jenis dihitung menggunakan pers 5 sebagai berikut:

Perhitungan

Piknometer A

Diketahui:

a. Berat tanah (W_t) = 16,80 gram

b. $W_s = 161,50$ gram

c. $W_3 = 154,20$ gram

Maka:

$$G_s = \frac{16,80}{161,50 - 154,20}$$

$$G_s = \frac{16,80}{7,30}$$

$$G_s = 2,30$$

Piknometer B

Diketahui:

- a. Berat tanah = 18,50 gram
- b. $W_s = 174,00$ gram
- c. $W_3 = 165,70$ gram

$$G_s = \frac{18,50}{174,00 - 165,70}$$

$$G_s = \frac{18,50}{8,30}$$

$$G_s = 2,23$$

Sehingga diperoleh rata-rata berat jenis tanah sebagai berikut.

$$G_s = \frac{2,30 + 2,23}{2}$$

$$G_s = 2,27$$

2. Hasil Pengujian

Tabel 4. 4 Pengujian Berat Jenis

Parameter	Piknometer A	Piknometer B
Berat piknometer + contoh (gram)	60,90	77,70
Berat piknometer kosong (gram)	44,10	59,20
Berat tanah (gram)	16,80	18,50
Berat piknometer + air + tanah (gram)	154,20	165,70
Berat piknometer + air (gram)	144,70	155,50
W_s (gram)	161,50	174,00
Isi tanah (cm ³)	7,30	8,30
Berat jenis (Gs)	2,30	2,23
Rata-rata Berat Jenis (Gs)		2,27

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai berat jenis sebesar 2,30 pada Piknometer A dan 2,23 pada Piknometer B, sehingga diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah sebesar 2,27.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah penelitian termasuk tanah mineral dengan berat jenis yang relatif rendah dibandingkan tanah mineral kuarsa yang umumnya memiliki berat jenis sekitar 2,65. Nilai G_s sebesar 2,27 mengindikasikan bahwa tanah memiliki kandungan mineral lempung yang cukup dominan serta kemungkinan mengandung bahan organik atau mineral ringan yang menyebabkan berat jenisnya lebih kecil. Berat jenis tanah yang relatif rendah juga menunjukkan bahwa berat partikel padat tanah tidak terlalu besar dibandingkan volume yang dimiliki. Kondisi tersebut umumnya dijumpai pada tanah berbutir halus dengan kadar air tinggi yang mempunyai struktur lebih lunak dibandingkan tanah berpasir atau berkerikil.

4.4 Hasil Pengujian Atterberg Limit

1. Nilai batas cair diperoleh dari hubungan antara kadar air dan jumlah tumbukan pada alat Casagrande. regresi yang diperoleh dari grafik flow curve adalah

a) Perhitungan kadar air menggunakan pers 6 sebagai berikut:

- Percobaan 1 (7 ketukan)

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - w_1} \times 100 \%$$

$$\frac{22 - 18}{22 - 18}$$

$$W = \frac{18 - 10}{4} \times 100 \%$$

$$W = \frac{8}{8} \times 100 \%$$

$$W = 0,5 \%$$

- Percobaan 2 (30 ketukan)

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - w_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{26 - 22}{22 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{4}{12} \times 100 \%$$

$$W = 0,33 \%$$

- Percobaan 3 (16 ketukan)

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{23 - 19}{19 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{4}{9} \times 100 \%$$

$$W = 0,44 \%$$

b) Perhitungan Batas Cair (LL) menggunakan pers 7 sebagai berikut:

Persamaan regresi yang diperoleh adalah

$$LL = W_1 \frac{(\log 16 - \log [N_1])}{(\log N_2 - \log [N_1])} \times (W_2 - W_1)$$

Pada 25 tumbukan

$$LL = 0,33 \frac{(1,3979 - 1,4771)}{(1,2041 - 1,4771)} \times (0,44 - 0,33)$$

$$LL = 0,33 \frac{(0,0792)}{(0,273)} \times (0,11)$$

$$LL = 0,33 - 0,03$$

$$LL = 0,3 \%$$

c) Perhitungan Batas Plastis (PL) menggunakan pers 8 sebagai berikut:

Diketahui

- Cawan 1

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{22 - 18}{18 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{4}{8} \times 100 \%$$

$$W = 0,5 \%$$

- Cawan 2

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{26 - 18}{18 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{8}{8} \times 100 \%$$

$$W = 1 \%$$

- Cawan 3

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - w_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{23 - 19}{19 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{4}{9} \times 100 \%$$

$$W = 0,44 \%$$

- Cawan 4

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - w_1} \times 100 \%$$

$$W = \frac{22 - 18}{18 - 10} \times 100 \%$$

$$W = \frac{4}{8} \times 100 \%$$

$$W = 0,5 \%$$

Berdasarkan hasil pengujian batas plastis, diperoleh kadar air masing-masing sampel sebesar 0,5%, 1%, 0,4%, dan 0,5 %. Nilai batas plastis (Plastic Limit) ditentukan dari rata-rata ketiga kadar air tersebut, sehingga diperoleh PL sebesar 0,6 %. Nilai ini menunjukkan kadar air pada saat tanah mulai berubah dari kondisi semi padat menjadi plastis dan merupakan salah satu parameter penting dalam klasifikasi tanah.

Maka dapat di hitung hasil Pengujian batas plastis, yakni :

$$PL = \frac{0,5 \% + 1 \% + 0,4 \% + 0,5 \%}{4}$$

$$PL = \frac{2,4 \%}{4}$$

$$PL = 0,6 \%$$

Maka hasil pengujian batas plastis adalah 0,6 %

- d) perhitungan Plasticity Index (PI) menggunakan pers 9 sebagai berikut:

Rumus Indeks Plastisitas

$$PI = LL - PL$$

$$PI = 0,3 - 0,6$$

$$PI = - 0,3 \%$$

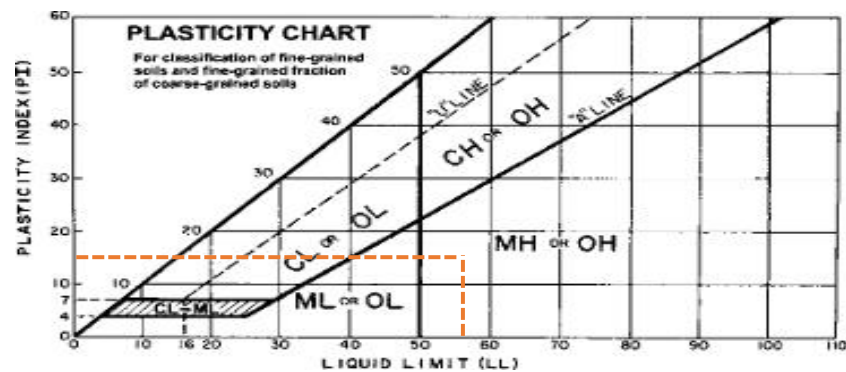
Sehingga diperoleh Indeks Plastisitas (PI) = - 0,3 %

2. Hasil Pengujian

Tabel 4. 5 Pengujian Atterberg Limit

Parameter	Nilai
Batas Cair (Liquid Limit)	0,3 %
Batas Plastis (Plastic Limit)	0,6 %
Indeks Plastisitas (Plasticity Index)	-0,3 %

3. Grafik Hubungan Jumlah Tumbukan dengan Kadar Air



4.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

1. Dasar Klasifikasi USCS

Menurut ASTM D2487, klasifikasi tanah dilakukan melalui dua tahapan, yaitu:

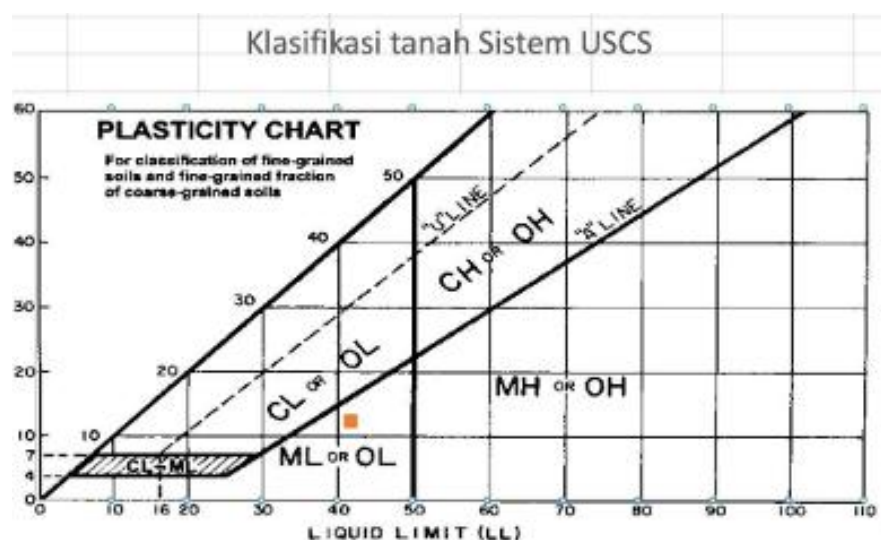
- Menentukan jenis tanah berdasarkan hasil analisis saringan
 - Tanah dikategorikan sebagai coarse-grained soil apabila lebih dari 50% berat tanah tertahan pada saringan No.200.
 - Tanah dikategorikan sebagai fine-grained soil apabila lebih dari 50% berat tanah lolos saringan No.200.
- Menentukan simbol klasifikasi berdasarkan Plasticity Chart
 Nilai Liquid Limit (LL) dan Plasticity Index (PI) diplot pada grafik plastisitas (Plasticity Chart/Casagrande Chart).

2. Hasil Klasifikasi

Tabel 4. 6 Sifat Fisistanaah Dan Klasifikasi Tanah

Parameter	Hasil
Persentase lolos No.200	55 %
Liquid Limit (LL)	39,68 %
Plasticity Index (PI)	19,59 %
Posisi terhadap A-Line	Di atas A-Line
Simbol USCS	CL
Jenis Tanah	Lempung anorganik plastisitas rendah-sedang (Inorganic Clay with Low to Medium Plasticity)

3. Plasticity Chart



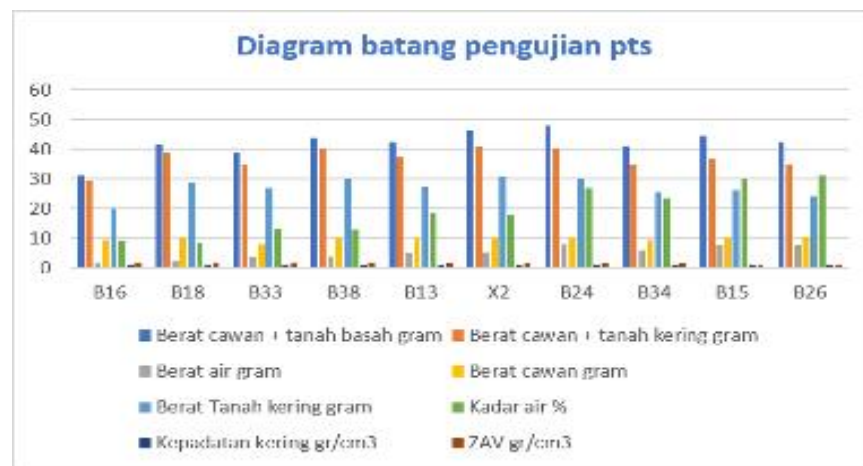
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Standard Proctor

No	Kadar Air (%)	Kepadatan Basah (gr/cm ³)	Kepadatan Kering (gr/cm ³)	ZAV (gr/cm ³)
1	9,00	1,542	1,41	1,88
2	8,30	1,606	1,42	1,91
3	13,38	1,688	1,42	1,74
4	12,96	1,774	1,42	1,75
5	18,68	1,774	1,42	1,59
6	17,86	1,743	1,43	1,62
7	27,00	1,688	1,40	1,41
8	23,44	1,606	1,44	1,48
9	30,04	1,542	1,34	1,35
10	31,15	1,606	1,33	1,33

Tabel 4. 8 Parameter Hasil Standard Proctor

Parameter	Nilai
Optimum Moisture Content (OMC)	17,63 %
Maximum Dry Density (MDD)	1,48 gr/cm ³
95% Maximum Dry Density	1,44 gr/cm ³
Kadar Air pada 95% MDD	23,44 %

4. Diagram batang Pemadatan

**Gambar 4. 1 Diagram batang pengujian pts**

Berdasarkan hasil pengujian Standard Proctor diperoleh hubungan antara kadar air dan kepadatan kering yang membentuk kurva pemadatan berbentuk parabola. Nilai kepadatan kering mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar air hingga mencapai kondisi optimum, kemudian mengalami penurunan setelah kadar air melebihi nilai optimum. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) sebesar 17,63%, sedangkan kepadatan kering maksimum (Maximum Dry Density/MDD) sebesar 1,48 gr/cm³. Selain itu diperoleh nilai 95% MDD sebesar 1,44 gr/cm³, yang dicapai pada kadar air sekitar 23,44%.

Diagram batang pemadatan juga menunjukkan bahwa seluruh titik hasil pengujian berada di bawah garis Zero Air Void (ZAV). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada saat proses pemadatan masih terdapat rongga udara di dalam tanah sehingga kondisi tanah belum mencapai kejenuhan

sempurna. Fenomena ini merupakan kondisi yang umum terjadi pada pengujian pemadatan di laboratorium.

4.6 Pengujian Direct Shear

Pengujian Direct Shear Test dilakukan untuk mengetahui perubahan parameter kuat geser tanah setelah dilakukan stabilisasi menggunakan kapur dan abu cangkang sawit (ACS). Parameter yang diperoleh dari pengujian ini adalah kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan beberapa variasi campuran, yaitu 5% kapur + 6% ACS, 20% kapur + 30% ACS, dan 15% kapur + 7% ACS. Setiap benda uji diberikan tiga variasi tegangan normal, yaitu 0,10 kg/cm², 0,20 kg/cm², dan 0,40 kg/cm². Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum digunakan untuk memperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) melalui grafik keruntuhan Mohr-Coulomb.

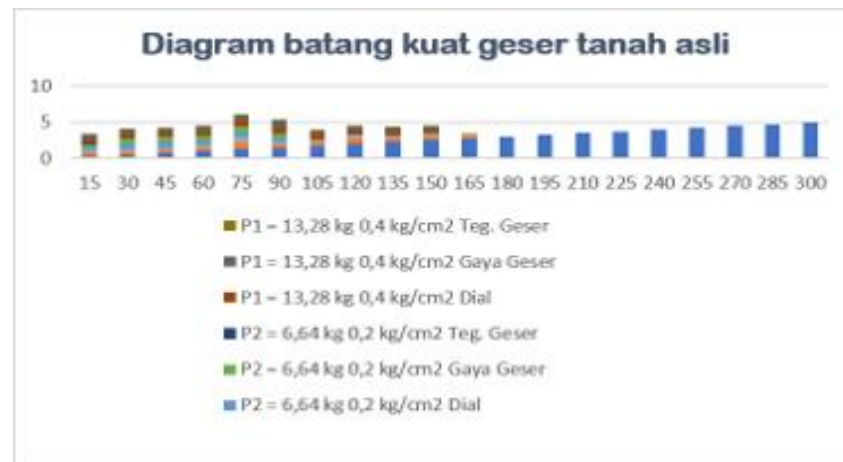
1. Hasil Pengujian

Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)
0,10	0,026
0,20	0,022
0,40	0,027

Berdasarkan grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser diperoleh:

- Kohesi (c) = 0,0116 kg/cm²
- Sudut geser dalam (ϕ) = 1,62°

2. Diagram batang Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



Gambar 4. 2 Diagram batang kuat geer tanah asli

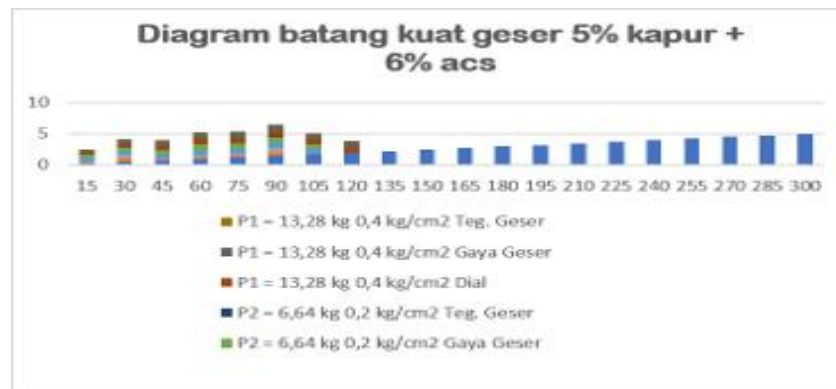
Berdasarkan hasil pengujian Direct Shear diperoleh nilai kohesi sebesar $0,0116 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser dalam sebesar $1,62^\circ$. Nilai kohesi menunjukkan adanya ikatan antarpartikel tanah yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa tanah asli masih mempunyai struktur yang lemah sehingga kemampuan menahan gaya geser belum optimal. Sudut geser dalam yang hanya sebesar $1,62^\circ$ menunjukkan bahwa tahanan gesek antarbutiran tanah juga masih sangat rendah. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil pengujian karakteristik tanah sebelumnya yang menunjukkan bahwa tanah memiliki kadar air alami sangat tinggi, plastisitas sedang, dan termasuk tanah berbutir halus (CL). Kandungan air yang tinggi menyebabkan gaya gesek antarpartikel berkurang sehingga kuat geser tanah menjadi rendah

4.7 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 5% Kapur + 6% Abu Cangkang Sawit (ACS)

1. Hasil Pengujian

Tegangan Normal (kg/cm²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm²)
0,10	0,018
0,20	0,028
0,40	0,028

2. Diagram batang Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



Gambar 4. 3 Diagram batang kuat geser 5% kapur + 6% ACS

Berdasarkan grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser diperoleh:

- Kohesi (c) = $0,0035 \text{ kg/cm}^2$
- Sudut geser dalam (ϕ) = $4,14^\circ$

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kohesi sebesar $0,0035 \text{ kg/cm}^2$ dan sudut geser dalam sebesar $4,14^\circ$. Apabila dibandingkan dengan tanah asli, nilai kohesi mengalami penurunan dari $0,0116 \text{ kg/cm}^2$ menjadi $0,0035 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan sudut geser dalam mengalami peningkatan dari $1,62$ menjadi $4,14$.

Penurunan kohesi menunjukkan bahwa pada tahap awal penambahan kapur dan abu cangkang sawit, ikatan kohesif alami tanah mulai berubah akibat proses pertukaran ion (cation exchange) dan flokulasi partikel lempung. Di sisi lain, peningkatan sudut geser dalam menunjukkan bahwa kontak antarpartikel menjadi lebih kasar sehingga tahanan gesek antarbutiran meningkat.

4.8 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 20% Kapur + 30% Abu Cangkang Sawit (ACS)

1. Hasil Pengujian

Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)
0,10	0,026
0,20	0,034
0,40	0,077

2. Diagram batang Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



Gambar 4. 4 Diagram batang kuat geser 20% kapur + 30% ACS

Berdasarkan grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser diperoleh:

- Kohesi (c) = 0,0068 kg/cm²
- Sudut geser dalam (ϕ) = 7,45°

Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran 20% kapur + 30% abu cangkang sawit menghasilkan nilai kohesi sebesar 0,0068 kg/cm² dan sudut geser dalam sebesar 7,45. Apabila dibandingkan dengan tanah asli, nilai kohesi memang masih lebih rendah, yaitu turun dari 0,0116 kg/cm² menjadi 0,0068 kg/cm². Namun demikian, nilai kohesi mengalami peningkatan dibandingkan campuran 5% kapur + 6% ACS, yaitu dari 0,0035 kg/cm² menjadi 0,0068 kg/cm².

Di sisi lain, sudut geser dalam meningkat secara signifikan dari 1,62 pada tanah asli menjadi 7,45. Nilai ini merupakan sudut geser dalam tertinggi dibandingkan seluruh variasi campuran yang diuji, sehingga

menunjukkan bahwa penambahan kapur dan abu cangkang sawit dalam komposisi ini mampu meningkatkan tahanan gesek antarpartikel tanah secara lebih efektif.

4.9 Hasil Pengujian Direct Shear Campuran 15% Kapur + 7% Abu Cangkang Sawit (ACS)

1. Hasil Pengujian

Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)
0,10	0,026
0,20	0,051
0,40	0,065

2. Diagram Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser



Gambar 4. 5 Diagram batang kuat geser 15% kapur + 7% ACS

Berdasarkan grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser diperoleh:

- Kohesi (c) = 0,0110 kg/cm²
- Sudut geser dalam (ϕ) = 6,45°

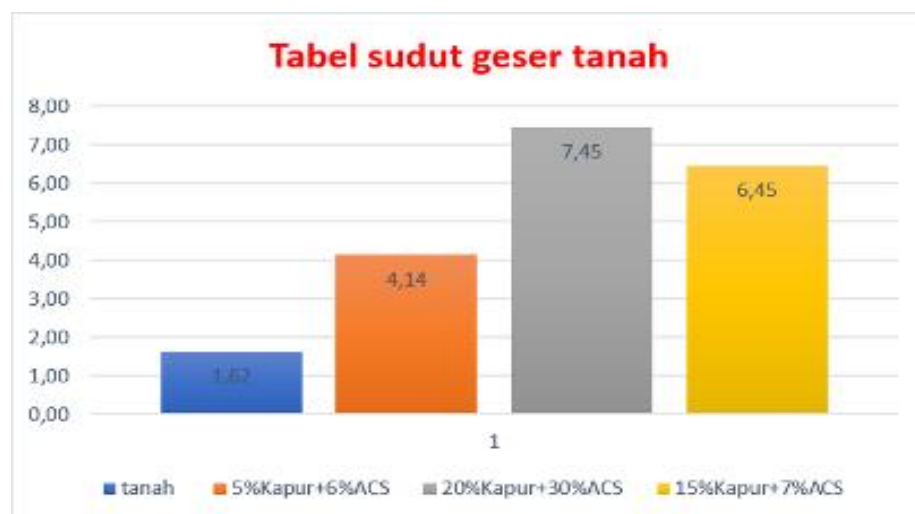
Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kohesi sebesar 0,0110 kg/cm² dan sudut geser dalam sebesar 6,45. Apabila dibandingkan dengan tanah asli, nilai kohesi hampir tidak mengalami perubahan, yaitu dari 0,0116 kg/cm² menjadi 0,0110 kg/cm². Penurunan yang terjadi sangat kecil sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan tanah dalam mempertahankan ikatan kohesif masih tetap terjaga setelah penambahan bahan stabilisasi. Sementara itu, nilai sudut geser dalam meningkat secara nyata dari 1,62

menjadi 6,45. Hal ini menunjukkan bahwa selain mempertahankan kohesi tanah, campuran 15% kapur + 7% ACS juga mampu meningkatkan tahanan gesek antarpartikel tanah. Dengan demikian, kombinasi bahan stabilisasi ini memberikan peningkatan yang seimbang antara komponen kohesi dan gesekan internal.

4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Direct Shear

Tabel 4. 9 variasi campuran sudut geser dalam

No	Variasi campuran	Sudut Geser Dalam (ϕ) ($^{\circ}$)
1	Tanah Asli	1,62
2	5% Kapur + 6% ACS	4,14
3	20% Kapur + 30% ACS	7,45
4	15% Kapur + 7% ACS	6,45



Gambar 4. 6 Diagram batang geser tanah dalam

Tabel 4. 10 variasi campuran kohesi

No	Variasi Campuran	Kohesi (c) (kg/cm ²)
1	Tanah Asli	0,0116
2	5% Kapur + 6% ACS	0,0035
3	20% Kapur + 30% ACS	0,0068
4	15% Kapur + 7% ACS	0,0110

**Gambar 4. 7 Diagram batang variasi campuran kohesi**

Tabel 4. 11 Hasil Keseluruhan Pengujian

N0	Jenis pengujian	Parameter	Tanah asli	5%kapur +6%ACS	15%kapur + 7%ACS	20%Kapur+ 30% ACS
1	Analisa saringan	Lolos no.4 (%)	55,5%	-	-	-
	Analisa saringan	Lolos No.200(%)	2,78%	-	-	-
2	Kadar air	Kadar air (%)	101,55%	-	-	-
3	Berat jenis	Gs	2,27	-	-	-
4	Batas Atterberg	LL (%)	0,3 %	-	-	-
		PL (%)	0,6 %	-	-	-
		PI (%)	-0,3%	-	-	-
5	Klasifikasi	USCS	OH	-	-	-
6	Pemadatan	OMC (%)	17,63	-	-	-
		MDD (%)	1,48	-	-	-
7	Direct shear	Kohesi c (kg/cm ²)	0,0116	0,0035	0,0110	0,0068
		Sudut geser ϕ (°)	1,62	4,14	6,45	7,45
		Kuat geser maksimum τ	1,63	4,15	6,45	7,45

Nilai kohesi tertinggi diperoleh pada tanah asli, yaitu sebesar 0,0116 kg/cm², sedangkan nilai kohesi terendah diperoleh pada campuran 5% kapur + 6% ACS, yaitu sebesar 0,0035 kg/cm². Pada campuran 15% kapur + 7% ACS, nilai

kohesi kembali meningkat menjadi $0,0110 \text{ kg/cm}^2$, yang hampir sama dengan kohesi tanah asli. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi tersebut mampu mempertahankan sifat kohesif tanah setelah proses stabilisasi. Berbeda dengan kohesi, nilai sudut geser dalam menunjukkan kecenderungan meningkat setelah penambahan bahan stabilisasi. Tanah asli hanya memiliki sudut geser dalam sebesar $1,62^\circ$, sedangkan campuran 5% kapur + 6% ACS meningkat menjadi 4,14. Nilai tertinggi diperoleh pada campuran 20% kapur + 30% ACS, yaitu sebesar 7,45, kemudian sedikit menurun pada campuran 15% kapur + 7% ACS menjadi 6,45.

Peningkatan sudut geser dalam menunjukkan bahwa penambahan kapur dan abu cangkang sawit mampu meningkatkan tahanan gesek antarpartikel tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa proses stabilisasi menyebabkan struktur tanah menjadi lebih padat dan kontak antarbutiran menjadi lebih baik dibandingkan kondisi tanah asli.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan kapur dan abu cangkang sawit terhadap kuat geser tanah lempung ekspansif menggunakan pengujian Direct Shear Test, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan abu cangkang sawit dan kapur tohor memberikan pengaruh terhadap parameter kuat geser tanah, yaitu nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Berdasarkan hasil pengujian Direct Shear, setiap variasi campuran menunjukkan perubahan karakteristik kuat geser dibandingkan dengan tanah asli. Hal ini menunjukkan bahwa kedua material tersebut mampu berinteraksi dengan partikel tanah sehingga memengaruhi kemampuan tanah dalam menahan gaya geser.
2. Nilai kohesi tanah setelah distabilisasi mengalami perubahan pada setiap variasi campuran. Meskipun beberapa variasi menunjukkan penurunan nilai kohesi dibandingkan tanah asli, perubahan tersebut masih berada pada kisaran yang relatif kecil. Penurunan kohesi tersebut diimbangi dengan peningkatan nilai sudut geser dalam, sehingga secara keseluruhan kemampuan tanah dalam menahan beban geser tetap mengalami peningkatan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi kadar kapur dan abu cangkang sawit yang lebih beragam sehingga dapat diketahui komposisi optimum yang memberikan peningkatan kuat geser tanah secara lebih akurat.
2. Selain menggunakan pengujian Direct Shear Test, penelitian selanjutnya dapat menambahkan pengujian lain seperti Unconfined Compression Test (UCT), California Bearing Ratio (CBR), atau Triaxial Test sehingga perubahan sifat mekanik tanah dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

3. Penggunaan abu cangkang sawit sebagai bahan stabilisasi alternatif perlu terus dikembangkan karena selain mampu memanfaatkan limbah perkebunan kelapa sawit, bahan ini juga berpotensi menjadi material yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan bahan stabilisasi konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D3080/D3080M-11: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM D4318-17: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah I* (Edisi ke-7). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah II* (Edisi ke-7). Gadjah Mada University Press.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Pedoman Perencanaan Geoteknik*. Kementerian PUPR.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional.
- Walewangko, R., Sompie, B. F., & Sumampouw, J. E. (2020). *Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Bahan Tambah terhadap Karakteristik Tanah*. Jurnal Teknik Sipil.

LAMPIRAN

Tabel II.1. Sistem Klasifikasi *USCS*.

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum
TANAH BERBUTIR KASAR Lebih dari setengah materainya lebih kasar dari saringan no.200	KERIKIL Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih kasar dari saringan no. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan bahan halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir – lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lanau
	PASIR Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih kasar dari saringan no.4	Pasir bersih (hanya kerikil)	SW	Pasir bergradasi – baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi – buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan bahan halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir – Lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir – lempung
TANAH BERBUTIR HALUS Lebih dari setengah materainya lebih halus dari saringan no 200	LANAU DAN LEMPUNG Batas cair kurang dari 50	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Batas cair lebih dari 50	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae , lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Lempung gemuk	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		Tanah – tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT

(Sumber : Shirley, 1994)

Hasil Pengujian kadar air

No.	Nomor Cawan			B13	B14
1.	Berat Cawan (W3)		(gr)	10,00	8,50
2.	Berat Cawan + Tanah Basah (W1)		(gr)	64,60	59,20
3.	Berat Cawan + Tanah Kering (W2)		(gr)	42,70	34,40
4.	Berat Air = (2) – (3)		(gr)	21,90	24,80
5.	Berat Tanah Kering = (3) – (1)		(gr)	20,40	25,90
6.	Kadar Air (w) = (4)/(5) x 100%		%	107,35	95,75
7.	Rata-Rata Kadar Air		%	101,55	

Hasil Pengujian berat jenis tanah

Nomor Piknometer	Lambang	Satuan	A	B
Berat Piknometer + contoh	W2	gram	66,7	77,4
Berat Piknometer	W1	gram	44,1	59,2
Berat tanah	Wt = W2 - W1	gram	22,6	18,2
Berat Piknometer + air + tanah	W3	gram	157,4	167,0
Berat Piknometer + air	W4	gram	144,7	155,5
W5	Wt + W4	gram	167,3	173,7
Isi tanah	W5 - W3	cm3	9,9	6,7
Berat Jenis (Gs)	Wt / (W5-W3)		2,28	2,72
Rata-rata berat jenis (Gs)			2,50	

Hasil pengujian berat isi

No.	Nomor Ring		1	1
1.	Berat ring kosong (W1)	(gr)	18,10	18,10
2.	Berat ring kosong +tanah basah (W2)	(gr)	60,00	48,40
3.	Berat tanah basah $W3 = (W2 - W1)$	(gr)	41,90	30,30
4.	Volume ring (V)	(cm3)	61,49	61,49
5.	Berat isi tanah basah (W3/V)	(gr/cm3)	0,68	0,49
6.	Rata-rata berat isi tanah basah	%	0,59	

Hasil pengujian batas-batas atterbag

Kode Cawan	B34	B12	B38	B36		Z3	B3-7
Jumlah Tumbukan (kali)	7	16	25	28		-	-
Berat Cawan (gr)	10,3	8,8	10	10		10,2	10,4
(gr)	31,3	35,5	40,6	34,5		12,3	12,5
Berat tanah basah (gr)	21	26,7	30,6	24,5		2,1	2,1
(gr)	24	27,2	31,7	27,9		11,9	12,2
Berat tanah kering (gr)	13,7	18,4	21,7	17,9		1,7	1,8
Berat air (gr)	7,3	8,3	8,9	6,6		0,4	0,3
Kadar air (%)	53,28	45,11	41,01	36,87		23,53	16,67
Batas Cair (LL)		39,68					
Batas Plastis (PL)		20,10					
Indeks Plastisitas (IP)		19,59					

Hasil pengujian batas atterbag

Jumlah air	mL	100		200		300		400		500	
Berat mold + tanah	gram	5810		5880		5560		5955		5965	
Berat mold	gram	4545		4545		4545		4545		4545	
Berat tanah basah	gram	1265		1335		1015		1410		1420	
Volume mold	cm3	943,8		940,2		939,2		941,2		937,9	
Kepadatan tanah basah	gr/cm3	1,340		1,420		1,081		1,498		1,514	
Nomor Cawan		B16	B18	B33	B38	B13	X2	B24	B34	B15	B26
Berat cawan + tanah basah	gram	31,2	41,3	38,7	44	42,4	46,3	48,1	41	44,4	42,5
Berat cawan + tanah kering	gram	29,4	38,9	35,1	40,1	37,3	40,8	40	35	36,5	34,9
Berat air	gram	1,8	2,4	3,6	3,9	5,1	5,5	8,1	6	7,9	7,6
Berat cawan	gram	9,4	10	8,2	10	10	10	10	9,4	10,2	10,5
Berat Tanah kering	gram	20	28,9	26,9	30,1	27,3	30,8	30	25,6	26,3	24,4
Kadar air	%	9,00	8,30	13,38	12,96	18,68	17,86	27,00	23,44	30,04	31,15
Kepadatan kering	gr/cm3	1,23	1,24	1,25	1,26	0,91	0,92	1,18	1,21	1,16	1,15
ZAV	gr/cm3	1,88	1,91	1,74	1,75	1,59	1,62	1,41	1,48	1,35	1,33

Hasil pengujian kuat geser Tanah asli

Gaya Normal		P1 = 3,32 kg			P2 = 6,64 kg			P1 = 13,28 kg		
Tegangan Nornal		0,1 kg/cm ²			0,2 kg/cm ²			0,4 kg/cm ²		
Waktu (detik)	Pergeseran (mm)	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser
15	0,25	0,42	0,42	0,013	0,41	0,41	0,012	0,68	0,68	0,021
30	0,5	0,41	0,41	0,012	0,67	0,67	0,020	0,63	0,63	0,019
45	0,75	0,37	0,37	0,011	0,73	0,73	0,022	0,57	0,57	0,017
60	1	0,41	0,41	0,012	0,65	0,65	0,020	0,61	0,61	0,019
75	1,25	0,87	0,87	0,026	0,7	0,7	0,021	0,74	0,74	0,022
90	1,5	0,4	0,4	0,012	0,55	0,55	0,017	0,89	0,89	0,027
105	1,75	0,41	0,41	0,012				0,64	0,64	0,019
120	2	0,65	0,65	0,020				0,56	0,56	0,017
135	2,25	0,41	0,41	0,012				0,59	0,59	0,018
150	2,5	0,42	0,42	0,013				0,55	0,55	0,017
165	2,75	0,3	0,3	0,009						
180	3									
195	3,25									
210	3,5									
225	3,75									
240	4									
255	4,25									
270	4,5									
285	4,75									
300	5									

Dari grafik diperoleh:				
C	Kohesi tanah	=	0,0116	kg/cm ²
φ	Sudut geser tanah	=	1,62	derajat

Hasil kuat geser campuran 5% kapur + 6% ACS

Gaya Normal		P1 = 3,32 kg			P2 = 6,64 kg			P1 = 13,28 kg		
Tegangan Normal		0,1 kg/cm ²			0,2 kg/cm ²			0,4 kg/cm ²		
Waktu (detik)	Pergeseran (mm)	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser
15	0,25	0,12	0,12	0,004	0,55	0,55	0,017	0,34	0,34	0,010
30	0,5	0,6	0,6	0,018	0,54	0,54	0,016	0,57	0,57	0,017
45	0,75	0,1	0,1	0,003	0,68	0,68	0,021	0,78	0,78	0,024
60	1	0,25	0,25	0,008	0,91	0,91	0,028	0,89	0,89	0,027
75	1,25	0,24	0,24	0,007	0,83	0,83	0,025	0,92	0,92	0,028
90	1,5	0,6	0,6	0,018	0,89	0,89	0,027	0,93	0,93	0,028
105	1,75	0,1	0,1	0,003	0,67	0,67	0,020	0,85	0,85	0,026
120	2							0,89	0,89	0,027
135	2,25									
150	2,5									
165	2,75									
180	3									
195	3,25									
210	3,5									
225	3,75									
240	4									
255	4,25									
270	4,5									
285	4,75									
300	5									

Dari grafik diperoleh:

C	Kohesi tanah	=	0,0035	kg/cm ²
φ	Sudut geser tanah	=	4,14	derajat

Hasil kuat geser campuran 20% kapur + 30% ACS

Gaya Normal		P1 = 3,32 kg			P2 = 6,64 kg			P1 = 13,28 kg		
Tegangan Normal		0,1 kg/cm ²			0,2 kg/cm ²			0,4 kg/cm ²		
Waktu (detik)	Pergeseran (mm)	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser
15	0,25	0,76	0,76	0,023	0,98	0,98	0,030	1,11	1,11	0,034
30	0,5	0,87	0,87	0,026	1,1	1,1	0,033	1,1	1,1	0,033
45	0,75	0,66	0,66	0,020	0,89	0,89	0,027	1,32	1,32	0,040
60	1	0,82	0,82	0,025	0,89	0,89	0,027	1,21	1,21	0,037
75	1,25	0,65	0,65	0,020	1,03	1,03	0,031	1,72	1,72	0,052
90	1,5	0,43	0,43	0,013	1,04	1,04	0,032	1,95	1,95	0,059
105	1,75				1,12	1,12	0,034	2,53	2,53	0,077
120	2				1,01	1,01	0,031	1,87	1,87	0,057
135	2,25				0,56	0,56	0,017	1,07	1,07	0,033
150	2,5									
165	2,75									
180	3									
195	3,25									
210	3,5									
225	3,75									
240	4									
255	4,25									
270	4,5									
285	4,75									
300	5									

Dari grafik diperoleh:

C	Kohesi tanah	=	0,0068	kg/cm ²
φ	Sudut geser tanah	=	7,45	derajat

Hasil pengujian campuran 15%kapur + 7 % ACS

Gaya Normal		P1 = 3,32 kg			P2 = 6,64 kg			P1 = 13,28 kg		
Tegangan Nornal		0,1 kg/cm2			0,2 kg/cm2			0,4 kg/cm2		
Waktu (detik)	Pergeseran (mm)	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser	Dial	Gaya Geser	Teg. Geser
15	0,25	0,47	0,47	0,014	1,21	1,21	0,037	0,6	0,6	0,018
30	0,5	0,48	0,48	0,015	1,32	1,32	0,040	0,98	0,98	0,030
45	0,75	0,63	0,63	0,019	1,54	1,54	0,047	1,21	1,21	0,037
60	1	0,76	0,76	0,023	1,35	1,35	0,041	1,45	1,45	0,044
75	1,25	0,86	0,86	0,026	1,56	1,56	0,047	1,98	1,98	0,060
90	1,5	0,56	0,56	0,017	1,66	1,66	0,051	2,03	2,03	0,062
105	1,75	0,65	0,65	0,020	1,23	1,23	0,037	1,93	1,93	0,059
120	2	0,4	0,4	0,012	1,06	1,06	0,032	2,12	2,12	0,065
135	2,25							0,8	0,8	0,024
150	2,5							0,6	0,6	0,018
165	2,75									
180	3									
195	3,25									
210	3,5									
225	3,75									
240	4									
255	4,25									
270	4,5									
285	4,75									
300	5									

Dari grafik diperoleh:

C	Kohesi tanah	=	0,011	kg/cm2
ϕ	Sudut geser tanah	=	6,45	derajat