

**STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF DENGAN MENGGUNAKAN
PASIR DAN CANGKANG KERANG**

(PENELITIAN)

**Disusun Oleh:
Ir.Kamaleddin Lubis.**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2005**

ititan
5

**STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF DENGAN MENGGUNAKAN
PASIR DAN CANGKANG KERANG**

(PENELITIAN)

**Disusun Oleh:
Ir.Kamaluddin Lubis.**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2005**

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, atas rahmad dan karuniaNya yang telah banyak memberikan pemikiran dan waktu sehingga pembuatan laporan ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Yayasan Pendidikan Haji Agus Salim yang telah berkenan memberikan bantuan dana sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan rekan-rekan yang telah banyak memberikan masukan berupa pemikiran atas selesainya penelitian ini Tanah Ekspansif adalah tanah lempung dengan kandungan unsur mineral yang didominasi dengan kandungan lempung yang mempunyai sifat kembang susut volumenyan akan membesar dalam kondisi basah dan akan menyusut pada kondisi kering

Penelitian ini adalah mengkaji Tentang Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Menggunakan Pasir Dan Cangkang Kerang, disamping dari pada itu penulis menyadari bahwa ini masih jauh dari kesempurnaan oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat fositif sangat diharapkan demi kesempurnaannya.

Semoga Buku ini dapat bermanfaat, berguna bagi setiap pembaca, staf pengajar di Perguruan Tinggi, khususnya bagi dosen peneliti selanjutnya, dalam meningkatkan mutu pendidikan tinggi guna mencerdaskan pendidikan anak bangsa, dan negara pada umumnya

Medan, 12. April. 2009

Penulis


Ir. Kamaluddin Lubis.

LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL PENELITIAN

- No.
1. a Judul Penelitian : Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Menggunakan Pasir Dan Cangkrang Kerang
- b Bidang Ilmu Penelitian : Geoteknik
- c Katagori Pelitian : -
2. Ketua Peneliti
- a>Nama Lengkap : Ir. Kamaluddin Lubis .
- b Jenis Kelamin : Laki-laki
- c Golongan / Pangkat / NIP : III.b / Lektor / -
- d Jabatan Fungsional : -
- e Jabatan Struktural :
- f Fakultas / Program Studi : Teknik / Program Studi Jurusan Sipil
- g Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian UMA
3. Alamat Peneliti
- a Alamat Kantor : Jalan Kolam No. 1 Medan
- b Alamat Rumah : Jalan Bersama Gang Keluarga No.A Medan
- c Jumlah Anggota : -
- Lokasi Penelitian : Universitas Medan Area
- Kerja Sama Dengan : Penelitian Mandiri
- Lama Penelitian : 3 (Tiga) Bulan
- Biaya Yang Diperlukan : 3.500.000.-
- Sumber Dana : Universitas Medan Area

Mengetahui .
Dekan Fakultas Teknik

Ir.Hj.Haniza .MT

Medan,..... 20

3 Ketua Peneliti,


Ir.Kamaluddin Lubis.

Menyetujui.
Ketua Lembaga Penelitian

Ir.Roeswandy
NIP.

ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat berpengaruh dalam suatu pekerjaan struktur atau konstruksi, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Kondisi tanah yang sering menjadi kendala dan relatif banyak dijumpai adalah tanah yang memiliki sifat kembang susut yang tidak seragam, sehingga akan berpengaruh pada kapasitas dukungnya, ini disebabkan karena tanah memiliki nilai CBR yang relatif kecil. Sifat tanah yang demikian sangat merugikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran pasir dan cangkang kerang variasi tanah asli, 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang.

Untuk penambahan variasi tanah asli = CBR 10,83%, variasi 10% pasir + 0% cangkang kerang = CBR 13,27 %, variasi 0% pasir + 10% cangkang kerang = CBR 15,87% dan variasi 10% pasir + 10% cangkang kerang = CBR 22,90%. Ternyata hanya pencampuran dengan variasi 10% pasir + 10% cangkang kerang yang bisa memperbaiki stabilisasi tanah ekspansif yaitu dengan nilai CBR tertinggi sebesar 22,90% dan memenuhi syarat untuk sub grade jalan raya. Pada tanah yang memiliki nilai CBR tertinggi (maksimum) diperoleh pada penambahan variasi 10% pasir + 10% cangkang kerang yaitu CBR sebesar 22,90%, dengan perbandingan persentase berat sampel.

Kata kunci : Tanah lempung ekspansif, Pasir, cangkang kerang

DAFTAR ISI

JUDUL	HALAMAN
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Umum.....	1
1.2 Latar Belakang.....	2
1.3 Permasalahan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.5.1 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tanah.....	6
2.1.1 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	9
2.1.2 Sistem Klasifikasi USCS.....	14
2.1.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir.....	19
2.1.4 Klasifikasi tanah sistem ASTM.....	20
2.2 Sifat-Sifat Fisik Tanah.....	21
2.2.1 Kadar Air (<i>Moisture content/water content</i>)	23

2.2.2	Berat Jenis.....	23
2.2.3	Batas-batas Kosistensi.....	24
2.2.4	Pemadatan Tanah.....	26
2.2.5	Penentuan Kadar Air Optimum.....	29
2.2.6	Nilai CBR.....	30
2.2.7	Analisis Pembagian Butir.....	32
2.3	Stabilisasi Tanah.....	33
2.4	Sifat Umum Tanah Lempung.....	35
2.5	Struktur Tanah Berpasir	41

BAB III METODE PENELITIAN.....42

3.1.	Rencana Penelitian.....	42
3.2.	Persiapan Penelitian.....	43
3.3.	Bahan yang Digunakan.....	43
3.4.	Rancangan Penelitian.....	44
3.5.	Proses Penelitian.....	44
3.5.1.	Pekerjaan Persiapan.....	44
3.5.2.	Pekerjaan Lapangan.....	44
3.5.3.	Pekerjaan Laboratorium.....	45
3.6.	Bagan Alir Penelitian.....	46
3.7.	Langkah Kerja Penelitian.....	48
3.7.1.	Pengujian Kadar Air.....	48
3.7.2.	Pengujian Analisa Butiran.....	49
3.7.3.	Pengujian Berat Jenis tanah.....	49
3.7.4.	Pengujian Batas Atterberg.....	50
3.7.5.	Pengujian Pemadatan Standar.....	52
3.7.6.	Pengujian CBR.....	53

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....	54
4.1. Pengujian Butiran.....	55
4.2. Pengujian Kadar Air.....	57
4.3. Pengujian Berat Jenis.....	58
4.4. Pengujian Batas Atterberg.....	60
4.5. Pengujian Pemasatan Standar.....	62
4.6. Pengujian CBR.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	66
5.2. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

	<i>18 pme</i>		
Gambar 2.1	Nilai-nilai batas-batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7		11
Gambar 2.2	Diagram Fase Tanah.....		21
Gambar 2.3	Batas Konsistensi tanah.....		24
Gambar 2.4	Keadaan-keadaan Konsistensi tanah.....		26
Gambar 2.5	Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Volume Tanah (Berat Volume kering) <i>18 pme</i>		28
Gambar 2.6	Hubungan Antara Kadar Air dan Berat Volume Tanah (Kadar Air Optimum) <i>18 pme</i>		30
Gambar 2.7	Grafik Aktivitas Mineral Lempung (PI vs C)		37
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian.....		47
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Kadar Air		57
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Berat Jenis.....		59
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Batas Cair.....		60
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Batas Plastis.		61
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Indeks Plastis.....		61
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan OMC <i>18 pme</i>		63
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Berat Isi Kering Maks <i>18 pme</i>		63
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Nilai CBR ...		65

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel	2.1	Sistem Klasifikasi Tanah AASTHO	13
Tabel	2.2	Klasifikasi Tanah Sistem <i>Unified</i>	17
Gambar	2.3	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran	19
Gambar	2.4	Klasifikasi Tanah Sistem ASTM	20
Gambar	2.5	Berat Jenis dari beberapa jenis tanah	24
Gambar	2.6	Potensi Pengembangan	39
Gambar	2.7	Potensi Pengembangan	40
Gambar	2.8	Sifat Tanah Lempung	40
Gambar	2.9	Hubungan Batas Atterberg dan Potensi Perubahan Volume	41
Gambar	3.1	Sampel Pengujian Penelitian	46
Gambar	4.1	Hasil Pengujian Analisa Saringan	55
Gambar	4.2	Hasil Pengujian Kadar Air	57
Gambar	4.3	Hasil Pengujian Berat Jenis.....	58
Gambar	4.4	Hasil Pengujian Batas Cair dan Batas Plastis	60
Gambar	4.5	Hasil Pengujian Pemadatan Standar	62
Gambar	4.7	Hasil Pengujian CBR	64

DAFTAR NOTASI

A	=	Kadar air mula-mula	(%)
B	=	Kadar air optimum	(%)
C	=	Lempung (<i>clay</i>)	
CBR	=	<i>California Bearing Ration</i>	(%)
F	=	Persen Material Lolos Saringan no.200	(%)
G	=	Kerikil (<i>gravel</i>)	
GI	=	Indeks kelompok (<i>Group Index</i>)	
H	=	Plastisitas tinggi (<i>high plasticity</i>)	
L	=	Plastisitas rendah (<i>low plasticity</i>)	
LL	=	Batas Cair	(%)
M	=	Lanau (<i>Silt</i>)	
NP	=	Non Plastis	
O	=	Lanau atau lempung organik (<i>organic silt or cly</i>)	
P	=	Gradasi buruk (<i>poor graded</i>)	
PI	=	Indeks Plastis	(%)
Pt	=	Tanah gambut dan tanah organik tinggi (<i>peat and highly organic clay</i>)	
S	=	Pasir (<i>sand</i>)	
S _n	=	Sampel	(Kg)
V	=	Isi (<i>volume</i>)	(cm ³)
V _s	=	Isi butir-butir padat (<i>volume of solid</i>)	(cm ³)
V _v	=	Isi pori/rongga (<i>volume of void</i>)	(cm ³)
V _w	=	Isi air (<i>volume of water</i>)	(cm ³)
W	=	Gradasi baik (<i>well graded</i>)	
W	=	Berat (<i>weight</i>)	(gr)
W _a	=	Berat udara (<i>weight of air</i>)	
W _w	=	Berat air (<i>weight of water</i>)	(gr)
W _s	=	Berat butir-butir padat (<i>weight of solid</i>)	(gr)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Umum

Tanah merupakan suatu material yang sangat penting dalam mengerjakan suatu konstruksi baik sebagai material pendukung maupun sebagai material utama. Dilapangan sering ditemukan tanah yang kurang baik, jelek atau tidak layak dipergunakan untuk mengerjakan suatu konstruksi. Hal ini disebabkan oleh sifat tanah yang sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan mempunyai nilai indeks konsistensi yang tidak sesuai atau mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi sehingga tidak dapat didirikan suatu bangunan atau konstruksi.

Dalam pekerjaan Teknik Sipil, tanah berfungsi sebagai bahan konstruksi maupun sebagai pondasi pendukung suatu bangunan. Oleh karena itu dalam pekerjaan Teknik Sipil perlu adanya penguasaan yang lebih mendalam mengenai masalah Mekanika Tanah, baik itu secara analitis mengenai perilaku tanah, sifat fisik dan mekanis tanah. Pengklasifikasian tanah digolongkan kedalam beberapa golongan diantaranya tanah dibagi menjadi empat macam yaitu: kerikil (*Gravel*), pasir (*Sand*), lanau (*Silt*), dan lempung (*Clay*). Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan.

1.2 Latar Belakang

Tanah ekspansif adalah tanah lempung dengan kandungan unsur mineral yang didominasi dengan kandungan lempung yang mempunyai sifat kembang susut. Volumennya akan membesar dalam kondisi basah dan akan menyusut bila dalam kondisi kering. Sifat inilah yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi-konstruksi bangunan, khususnya pada bagian pondasi yang merupakan konstruksi pada bangunan dan menghubungkan bangunan dengan tanah. Pondasi inilah yang berfungsi untuk mendistribusikan beban bangunan langsung ke tanah. Kerusakan tersebut disebabkan adanya penambahan volume tanah yang disebabkan bertambahnya volume air tanah tersebut yang biasanya terjadi hanya disatu titik pada bagian pondasi.

Dalam membuat suatu konstruksi yang membutuhkan daya dukung tanah yang besar. Cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan suatu tindakan stabilisasi terhadap tanah lempung tersebut.

1.3 Permasalahan

Stabilisasi pada hal ini dengan cara stabilisasi kimia yaitu dengan mencampurkan tanah lempung ekspansif dengan zat adiktif yaitu kapur, abu batubara, semen dan lain-lain. Berdasarkan pemikiran tersebut diatas, maka dirasa perlu dilakukan penelitian penggunaan jenis lain yaitu pasir dan cangkang kerang untuk diteliti pengaruhnya pada daya dukung tanah tersebut.

Dari uraian latar belakang dapat dirumuskan permasalahan yang dihadapi adalah kemungkinan perubahan dari pasir dan cangkang kerang akibat pencampuran dengan air atau pun dengan bahan-bahan lain yang akan mempengaruhi, sehingga akan merubah tanah lempung. Langkah – langkah penelitian adalah:

1. Berat volume
2. Kadar air
3. Berat jenis
4. Batas Atterberg
5. Analisa butiran
6. Pemadatan
7. CBR
8. Kuat tekan bebas

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan dan keterbatasan waktu maupun kemampuan penelitian maka dilakukan pembatasan masalah yaitu uji karakteristik tanah lempung ekspansif ditambah campuran pasir dan cangkang kerang sebesar 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang dari berat sampel. Diperlukan langkah penelitian sebagai berikut:

1. Kadar air
2. Analisa butiran
3. Berat jenis tanah
4. Batas Atterberg
5. Pemasatan
6. CBR

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat sejauh mana pengaruh campuran dengan komposisi campuran pasir dan cangkang kerang dari berat sampel terhadap daya dukung tanah (DDT), terhadap sifat fisik dan mekanik dari tanah lempung ekspansif. Sifat fisik : pembagian besar butiran, kadar air, berat jenis, dan batas-batas Atterberg. Sifat mekanik : pemasatan dan CBR.

1.5.1 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Secara Teoritis
 - Penelitian ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan membuktikan hasil dari penambahan terhadap nilai CBR dan pemasatan.
2. Secara Praktek
 - Data-data yang dihasilkan dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi pihak yang akan melakukan penelitian lebih lanjut khususnya tentang stabilisasi

- tanah ekspansif dengan pasir dan cangkang kerang.. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat yaitu untuk perbaikan kekuatan daya dukung pada tanah lempung sebagai lapis tanah dasar untuk suatu konstruksi.

1.6 Metode Penelitian

1. Tempat pengambilan sample tanah lempung diambil dari Desa Melati II Kecamatan Perbaungan Kabupaten Serdang Bedagai. Sedangkan sample pasir diambil dari panglong dan cangkang kerang dibeli dari pasar. Komposisi campuran 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang.
2. Tempat Penelitian.
Tempat penelitian dilakukan di STT-Harapan.
3. Jenis contoh tanah (*sample*).
Contoh tanah (*sample*) yang akan di uji adalah tanah lempung *ekspansif*.
4. Teknik Pengambilan Contoh Tanah.
Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan cara terganggu. Contoh tanah yang diambil adalah tanah yang berada di kedalaman 50 cm dari permukaan tanah.
5. Jenis pengujian.
Pengujian berupa pengujian sifat fisik dan mekanik untuk mengetahui kekuatan tanah setelah pencampuran.
6. Teknik pengumpulan data.
Data yang diperoleh adalah hasil dari pengujian setiap komposisi campuran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah membagi bahan-bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori : tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat dan tanah adalah kumpulan (*agregat*) butiran mineral alami yang biasa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termasuk diaduk dalam air. (*Karl Therzaghi, 1991*).

Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*Subgrade*).

Secara umum tanah dapat dibedakan menjadi dua yaitu (1) Tanah tak berkohesif, (2) tanah berkohesif. Tanah tak kohesif adalah berada dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan di dalam air, contohnya adalah tanah berpasir. Tanah berkohesif adalah apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pembasahan dan pengeringan yang menyusun butiran tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlakukan untuk memisahkan dalam keadaan kering, contohnya pada tanah lempung (*Bowles, 1991*).

Dalam pengertian teknik secara umum, (*Braja M. Das 1988*) mendefinisikan tanah sebagai material yang terdiri agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*base rock*) (*Hardiyatmo, H.C, 1992, hal 1*).

Menurut (*Craig 1997*) yang dimaksud dengan tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai ikatan atau lemah ikatan antara partikel yang terbentuk karena pelapukan batuan. Yang memperlemah ikatan tersebut adalah pengaruh karbonat atau oksida dan juga diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air atau udara. Selain itu juga dapat disebabkan oleh adanya material organik hasil dari pelapukan tersebut diatas tetap berada pada tempat semula maka bagian ini disebut tanah sisa (*residu soil*). Hasil pelapukan terangkut ketempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Media pengangkutan tanah berupa gravitasi, angin, air dan gletser. Pada saat akan berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan

mempunyai urutan yang tidak sama jika berdasarkan pada kondisi-kondisi fisis yang lainnya (Duun, 1992).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 1992).

Berikut ini sistem klasifikasi yang umum digunakan dalam bidang teknik sipil :

2.1.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan hingga tahun 1945, sedangkan yang berlaku saat ini adalah ASTM Standart No. D- 3282, AASHTO metode M145 (Sumber : Braja M Das, 1995).

Sistem ini didasarkan pada kriteria berikut ini :

- a. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

Kerikil : Bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm.

Pasir : Bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,0075 mm.

Lanau dan Lempung : Bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 0,0075 mm.

- b. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.
- c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Sistem Klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termaksud sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat dalam Tabel 2.1

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F - 35)(0,2 + 0,005(LL - 40)) + 0,01(F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

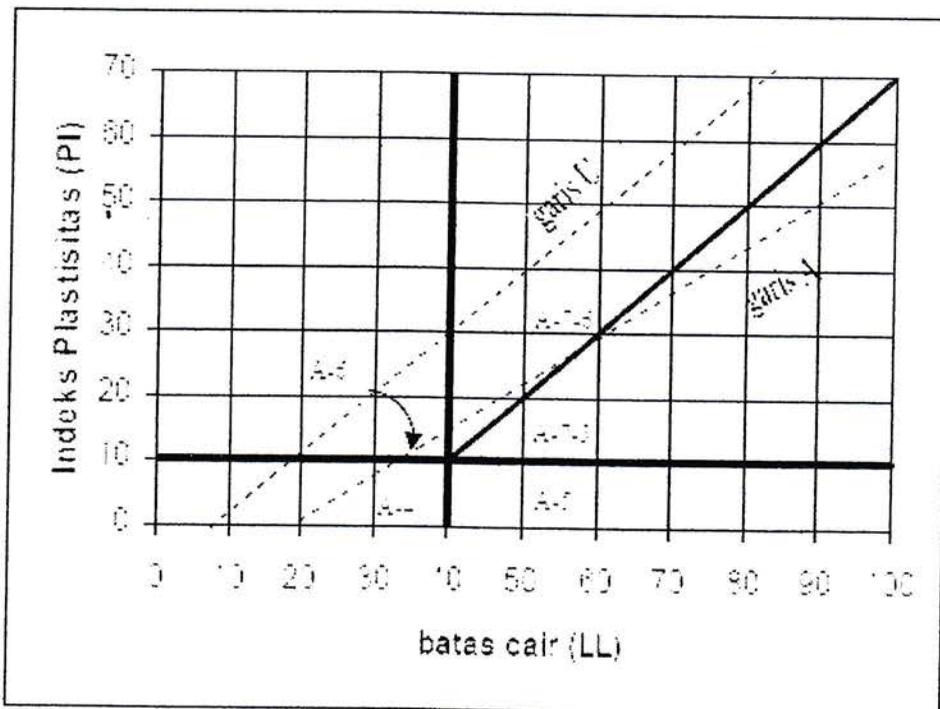
GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen material lolos saringan no. 200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, makin berkurang ketepatan penggunaan tanahnya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. tanah A-1 granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lewat saringan no. 200), tetapi masih terdiri atas lanau dan lempung. Tanah berbutir halus dikalsifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Perbedaan keduanya berdasarkan pada batas-batas *Atterberg*.



Gambar 2.1 Nilai-nilai batas-batas Atterberg untuk Subkelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

Sumber : *Mekanika Tanah 1, Hary Christady 1992.*

Gambar 2.1 dapat digunakan memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2. Dalam tanah organik tinggi seperti gambut (*peat*) diletakan dalam kelompok A-8.



Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granul ($<35\%$ Lolos Saringan no.200)							Tanah-tanah Lanau-Lempung ($>35\%$ Lolos Saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5
Klasifikasi Kelompok											
Analisa Saringan (% Lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,452 mm (no.40)	30 maks	30 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	15 maks	10 maks	35 min	35 maks	35 maks	35 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat Fraksi Lolos Saringan no.40											
Batas Cair (LL)	-	-	Np	40 maks	40 maks	40 maks	40 maks	41 min	40 maks	41 min	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 maks	-	-	10 maks	11 maks	11 min	10 maks	10 maks	11 min	10 maks	11 min
Indeks Kelompok (GI)	0	0	0	0	4 maks	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	20 maks
Tipe Material yang Pokok Pada Umumnya	Pecahan Batu Kerikil dan Pasir	Pasir Halus	Kerikil Berlanau atau Berlempung dan Berpasir				Tanah Berlanau	Tanah Berlempung			
Penilaian Umum Sebagai Tanah Dasar	Sangat Baik Sampai Baik						Sedang Sampai Buruk				

Sumber : *Brqja M Das*, 1995

2.1.2 Sistem Klasifikasi USCS

Sistem ini diperkenalkan oleh *Cassagrande* pada tahun 1942, kemudian disempurnakan lagi tahun 1952 atas kerjasama *Unified States Bureau of Reclamation*. Sistem *Unified* membagi tanah dalam 2 kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% lolos saringan nomor 200. Simbol G (untuk tanah berkerikil) dan simbol S (untuk tanah berpasir). Simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan simbol P (untuk tanah bergradasi buruk).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. C (untuk lempung anorganik, *clay*) dan simbol O (untuk lanau organik). L (plastisitas rendah) dan H (plastisitas tinggi).

Simbol-simbol yang digunakan adalah :

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic clay*)

W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

H = plastisitas tinggi (*high plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan tanah apakah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - 1) Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butirannya.
 - 2) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos $\leq 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persentase yang lolos $> 50\%$, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
 - 3) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200 jika persentase butiran yang lolos $\leq 5\%$, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung C_u dan C_c . Jika bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkerikil) atau SW (bila pasir). Jika bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkerikil) atau SP (bila pasir).
 - 4) Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5 - 12%, tanah akan mempunyai simbol ganda dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - 5) Jika persentase butiran tanah lolos saringan no.200 $> 12\%$, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan butiran tanah yang lolos saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).

c. Jika tanah berbutir halus :

- 1) Menguji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- 2) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- 3) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- 4) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50%, gunakan simbol ganda.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem Unified

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis	
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Keril 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Keril Gradasi baik dan campuran pasir keril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
				GP	Keril Gradasi buruk dan campuran pasir keril, atau tidak mengandung butiran halus
Keril banyak kandungan butiran halus	GM	Keril berlanau, campuran keril pasirlempung	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$		
			GC	Keril berlempung, campuran keril pasirlempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir Gradasi baik, pasir keril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus			$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
			Pasir dengan butiran halus	SP	Pasir Gradasi buruk, pasir keril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$			
		SC	pasir berlempung, campuran pasirlempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	

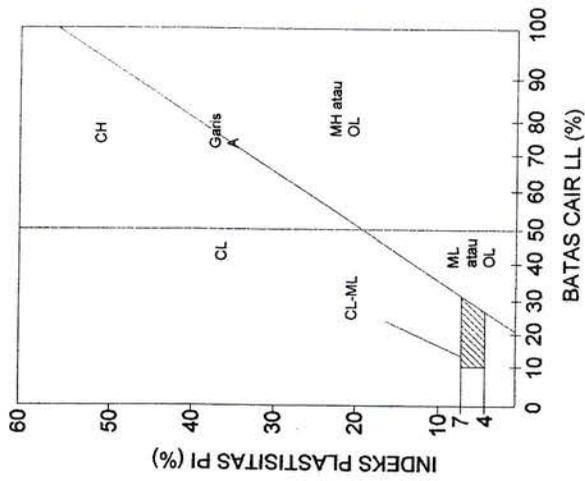
Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP, lebih dari 12% lolos saringan no. 200 : GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan no. 200, batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

Sumber : Cassagrande, 1952

Lanjutan Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem Unified

tanah berbutir halus ³ 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")
		OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fatclays")
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Cassagrande, 1952



manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

2.1.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Ukuran butir tampaknya merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah dan kebanyakan usaha-usaha yang terdahulu untuk membuat sistem klasifikasi adalah berdasarkan ukuran butir. Gambar 2.3 memperlihatkan beberapa sistem klasifikasi ini. Sistem MIT mungkin merupakan sistem yang paling banyak dipakai.

Karena deposit tanah pada umumnya terdiri atas berbagai ukuran-ukuran partikel, maka untuk menentukan kurva distribusi ukuran butir dan kemudian menentukan persentase tanah bagi tiap batas ukuran. (*Dunn, 1992*).

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Sistem Klasifikasi	Ukuran Butir, mm					
	100	10	1	0.1	0.01	0.001
MIT, 1931	Kerikil	Pasir	Lanau		Lempung	
	2	0.06	0.002			
AASTHO, 1970	Kerikil	Pasir	Lanau		Lempung Koloid	
	75	2	0.05		0.002	
Unified, 1953	Kerikil	Pasir	Fraksi Halus (Lanau Lempung)			
	75	4.75	0.075			

Sumber : *Dunn, 1992*

2.1.4 Klasifikasi tanah sistem ASTM

Klasifikasi tanah menurut ASTM dapat di lihat pada Tabel 2.4 seperti berikut :

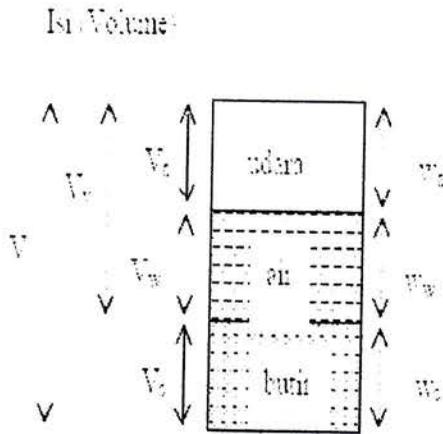
Tabel 2.4 Klasifikasi tanah sistem ASTM

Devisi Utama			Simbol	Klasifikasi Tanah	
TANAH BERBUTIR KASAR Lebih dari 50% Tertahan Saringan No.200	KERIKIL Lebih dari 50% Fraksi Kasar Tertahan Saringan No.4	Krikil bersih (butir halus > 5%)	$Cu > 4$ dan $1 < Cc < 3$	GW	Krikil Gradasi Baik
			$Cu > 4$ dan $1 > Cc > 3$	GP	Krikil Gradasi Jelek
		Krikil (Butir halus < 12%)	Fine klasifikasi ML atau MH	GM	Krikil Berlanau
			Fine klasifikasi CL atau CH	GC	Krikil Berlempung
	PASIR 50% atau Lebih Lolos Saringan No.4	Pasir bersih (butir halus > 5%)	$Cu > 6$ dan $1 < Cc < 3$	SW	Pasir Gradasi Baik
			$Cu > 6$ dan $1 > Cc > 3$	SP	Pasir Gradasi Jelek
		Pasir (Butir Halus < 12%)	Fine klasifikasi ML atau MH	SM	Pasir Berlanau
			Fine klasifikasi CL atau CH	SC	Pasir Berlempung
TANAH BERBUTIR HALUS 50% atau Lebih Lolos Saringan No.200	LANAU & LEMPUNG	Anorganik	$PI < 7\%$ dan di atas garis A	CL	Lempung Kurus
			$PI < 4\%$ dan di atas garis A	ML	Lanau
	Batas Cair < 50%	Organik	Batas cair – kering oven Batas cair – belum kering	OL	Lempung Organik Lanau Organik
	LANAU & LEMPUNG G	Anorganik	PI diatas garis A PI dibawah garis A	CH	Lempung Gemuk
				MH	Lanau Elastis
	Batas Cair < 50%	Organik	Batas cair – kering oven Batas cair – belum kering	OH	Lempung Organik Lanau Organik
Tanah Organik Tinggi		Gambut & tanah berorganik tinggi		PT	Peat (Gambut)

Sumber : Bowles, 1991.

2.2 Sifat-Sifat Fisik Tanah

Adapun bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam fase, seperti ditunjukkan



Gambar 2.2 Diagram Fase tanah

Sumber : Soedarmo, 1997

Dengan:

V = Isi (*volume*) (cm³)

V_w = Isi air (*volume of water*) (cm³)

V_v = Isi pori/rongga (*volume of void*) (cm³)

V_s = Isi butir-butir padat (*volume of solid*) (cm³)

W = Berat (*weight*) (gr)

W_a = Berat udara (*weight of air*)

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

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

Dari gambar tersebut dapat diperoleh rumus-rumus sebagai berikut :

- a. Kadar air (*Moisture content/water content*)

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

- b. Angka pori (*Void ratio*)

Angka pori adalah perbandingan volume pori dan volume partikel padat, yaitu :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

- c. Porositas (*Porosity*)

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume keseluruhannya.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

- d. Berat isi tanah alami / asli (*Natural density*)

Adalah perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan isi tanah seluruhnya, yaitu :

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

- e. Berat volume kering (*Dry density*)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

f. Berat volume basah (*Submerged / wet density*)

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} \dots\dots\dots (2.8)$$

g. Derajat kejenuhan (*Degree of saturation*)

$$Sr = \frac{V_w}{V_r} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.9)$$

2.2.1 Kadar Air (*Moisture content / water content*)

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

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

2.2.2 Berat jenis

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 27⁰C.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.10)$$

G_s tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedangkan tanah kohesi tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.6. (*Hardiyatmo, 1992*)

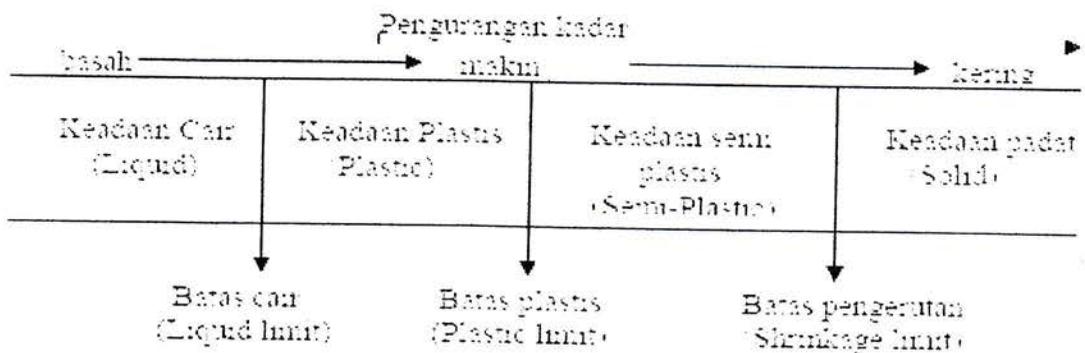
Tabel 2.5 Berat jenis dari beberapa jenis tanah

Macam Tanah	Berat Jenis GS
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau tak organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung tak organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber : *Hardiyatmo, 1992*

2.2.3 Batas-batas konsistensi

Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan pertimbangan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesi disajikan dalam Gambar 2.3



Gambar 2.3 Batas konsistensi tanah

Sumber : *Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah, Hal 10*

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesi ini disebabkan karena adanya air yang teresap di sekeliling permukaan dari partikel lempung (*Braja M Das, 1991*). Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi sari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut yaitu :

- Batas Cair (*Liquid Limit*)

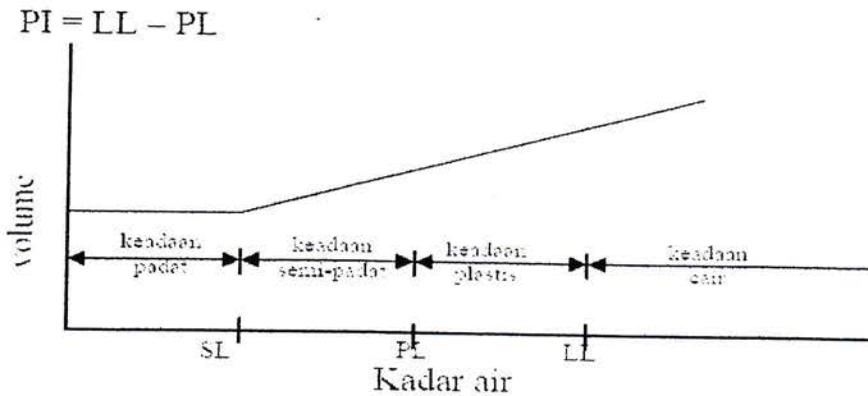
Batas cair (LL), rumus $LL = PI - PL$, didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Persentase kadar air dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. (*Hardiyatmo, 1992*)

- Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL), rumus $PL = LL - PI$, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air di mana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. (*Hardiyatmo, 1992*)

- Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI), rumus $PI = LL - PL$, adalah selisih batas cair dan batas plastis.



Gambar 2.4 keadaan-keadaan konsistensi tanah
 Sumber : *Dunn, 1992*

2.2.4 Pemadatan Tanah

Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah.

Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah, yang akan memberikan keuntungan yaitu :

- a. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- b. Bertambahnya kekuatan tanah.
- c. Memperkecilkan pemampatannya dan daya rembes airnya.
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

(*Hardiyatmo, H.C., 1992, hal 53*).

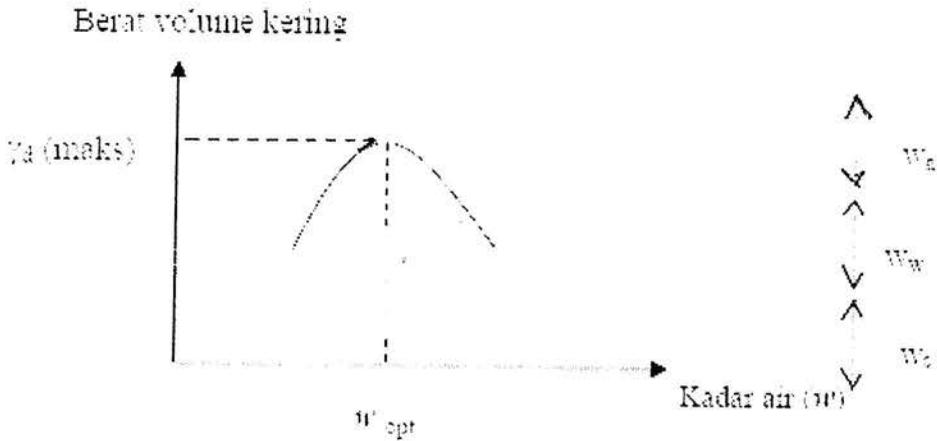
Karakteristik pemadatan dari suatu tanah dapat diketahui dari uji standar di laboratorium yaitu :

- Uji proctor (*proctor test*), volume cetakan 1000 cm^3 dan tanah (semua partikel yang lebih besar dari 20 mm disingkirkan) dipadatkan dengan penumbuk (*rammer*) seberat 2,5 kg massa dengan tinggi jatuh 300 mm, tanah dipadatkan dalam 3 lapisan yang sama, di mana masing-masing lapisan ditumbuk 27 kali.
- Uji AASTHO dimodifikasi, ukuran cetakan sama dengan pada uji standar, tetapi berat palu 4,5 kg dan tinggi jatuh 450 mm tanah (semua partikel yang lebih besar dari 20 mm disingkirkan) ditumbuk dalam 5 lapisan yang sama, tiap lapisan ditumbuk 27 kali.

Setelah dilakukan pemadatan dengan menggunakan salah satu dari tiga metode standar di atas, kerapatan butiran dan kadar air tanah, juga kerapatan keringnya ditentukan. (*Craig, 1991*). Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Dilapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan dilaboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji proktor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat

volume kering (γ_d), berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dengan persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$



Gambar 2.5 Hubungan Antara kadar air dan berat volume tanah (Berat Volume Kering)

Sumber : *Hardiyatmo, H.C, 1992*

Sebelum proses pelaksanaan pengerjaan suatu konstruksi tanah dasar (*subgrade*) harus dipadatkan sebaik-baiknya, untuk menjadikan lebih kuat dan untuk menjamin supaya kekuatannya cukup seragam. Pematatan tanah dasar ini harus dilakukan secara teratur, yaitu kadar airnya harus dipertahankan antara batas-batas tertentu (dekat pada optimum) dan kepadatan harus sedemikian sehingga berat isi keringnya tidak kurang dari suatu angka tertentu. Kekuatan tanah dasar banyak tergantung pada kadar airnya

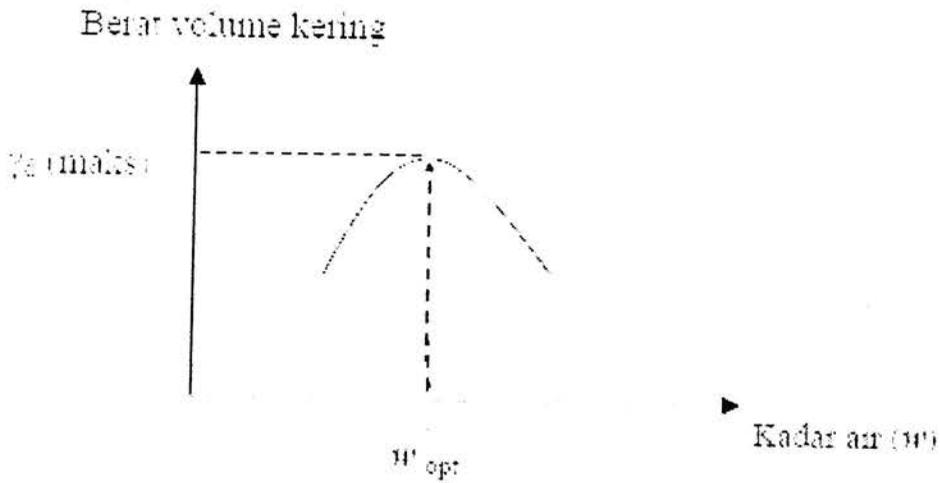
2.2.5 Penentuan Kadar Air Optimum

Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan proktor standar, pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (pada kadar air terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah lapisan tertentu. Setiap lapisan dipadatkan dengan sejumlah tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan massa dan tinggi jatuh tertentu. Apabila diketahui berat tanah basah didalam cetakan yang volumenya diketahui, maka berat isi basah dapat langsung dihitung :

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} \dots\dots\dots (2.8)$$

γ basah adalah perbandingan berat tanah basah dalam cetakan dengan volume cetakan, kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan.

Kadar air yang memberikan berat unit kering yang maksimal disebut kadar air optimum (Dunn dkk, 1980). Untuk tanah berbutir halus dalam mendapatkan kadar air optimum digunakan batas plastisnya. Buat kurva hubungan antara kadar air (w) sebagai absis dan berat volume tanah kering sebagai ordinat, puncak kurva sebagai nilai γ_d (maks), kurva yang digunakan adalah kurva dari uji pemadatan tanah (*proktor standar*). Dari titik puncak ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini adalah kadar air optimum.



Gambar 2.6 Hubungan Antara kadar air dan berat volume tanah (Kadar Air Optimum)

Sumber : *Dunn dkk, 1980*

2.2.6 Nilai CBR

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

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

Makin tinggi kadar airnya semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan

dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahan konstan pada nilai yang rendah itu. Untuk memperhitungkan pengaruh air terhadap kekuatan tanah, maka contoh untuk percobaan CBR sering direndam didalam air selama 4 hari sebelum dilakukan percobaan CBR.

Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ini disebut “ *design CBR* “. Cara yang dipakai untuk mendapat “*design CBR*” ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor, yaitu (Wesley, 1977) :

1. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
2. Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.

$$\text{Penambahan air} = 5 \left\{ \frac{100 + B}{100 + A} - 1 \right\} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dengan :
- A = kadar air mula-mula (%)
 - S = Sampel (Kg)
 - B = kadar air optimum (%)

Menurut (*Manual Pemeriksaan Badan Jalan, Dir.Jen Bina Marga, 176*), ada dua macam pengukuran CBR yaitu :

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

$$\text{Nilai CBR} = \frac{PI}{70,37} \times 100\% \text{ (PI x PI dalam kg cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.13)$$

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

$$\text{Nilai CBR} = \frac{PI}{105,56} \times 100\% \quad (\text{PI x PI dalam kg cm}^2) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar.

2.2.7 Analisis pembagian butir (*Grain size analysis*)

Analisis pembagian butir umumnya dibagi menjadi dua bagian (Soedarmo,1997):

1) Analisis ayakan (*Sieve analysis*)

Tanah yang dianalisis dikeringkan dengan panas matahari atau dengan oven. Kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan yang tersusun dari bawah dengan lubang terkecil / terhalus sampai ke atas dengan lubang terbesar / terkasar. Dari sisa-sisa tanah yang tertinggal di atas ayakan dan lolos, maka dapat digambarkan dalam kurva pembagian butir dari dan dari kurva tersebut dapat ditentukan jenis tanahnya dan gradasinya.

2) Analisis Hidrometri (*Hydrometer analysis*)

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

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

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

2.3 Stabilisasi Tanah

Apabila tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Salah satu upaya untuk mendapatkan sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis tertentu adalah dengan metode stabilisasi tanah.

Metode stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi utama yaitu berdasarkan sifat teknisnya dan berdasarkan pada tujuannya. Dari sifat teknisnya, stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu : stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimiawi.

Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*) yaitu upaya pengaturan gradasi butiran tanah secara proporsional yang diikuti dengan proses pemadatan untuk mendapatkan kepadatan maksimum. (Bowles,1988) mengatakan bahwa cara pemadatan ini ditempuh, dengan cara menggunakan peralatan mekanis misal: *sheep-foot roller*, benda-benda berat dijatuhkan, pembekuan, pemanasan dan lain-lain.

Stabilisasi fisik yaitu upaya penggantian tanah dengan cara membuang tanah asli serta mengganti dengan tanah yang memiliki karakteristik yang lebih baik.

Stabilisasi kimia (*chemical stabilization*) yaitu stabilisasi dengan menggunakan cara penambahan bahan kimia padat, cair maupun gel pada tanah sehingga mengakibatkan perbaikan sifat-sifat fisik dan mekanis dari tanah tersebut. Metode ini menggunakan cara mencampurkan tanah dengan semen, aspal, kapur, bentonit atau bahan kimia lainnya (*Cernica, 1995*).

Stabilitas tanah yang murah dan efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu, dengan penambahan bahan kimia dapat mengikat mineral lempung ekspansif menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif (*Ingles dan Metcalf, 1972*). Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu tindakan :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan atau tahanan gesek yang timbul.
- c. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan atau fisis pada tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah (*drainase tanah*).
- e. Mengganti tanah yang buruk.

Setiap perubahan fisis atau teknis pada massa tanah akan membutuhkan penyelidikan atas alternatif-alternatif ekonomis seperti relokasi tempat bangunan atau menggunakan lokasi bangunan alternatif (*Bowles, 1991*).

2.4 Sifat Umum Tanah Lempung Ekspansif

Lempung Ekspansif didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (*Braja M Das, 1988*). Ditinjau dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung ekspansif dan mineral lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (*Grim, 1953*).

Partikel lempung ekspansif dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu, tanah lempung ekspansif mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung ekspansif (*Kerr, 1959*). Beberapa mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung ekspansif yakni : *montmorillonite, illite, kaolinite, dan polygorskite* (*Hardiyatmo, H.C., 1992, hal 14*).

Tanah lempung ekspansif merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung ekspansif sangat rendah (*Terzaghi dan Peck, 1987*).

Sifat yang khas dari tanah lempung ekspansif adalah dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sifat-sifat umum mineral lempung ekspansif :

a) Hidrasi

Lempung ekspansif hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Air tertarik ke lapisan dengan cukup kuat sehingga berperilaku lebih sebagai benda padat dari pada benda cair. Lapisan ini akan hilang pada temperature yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

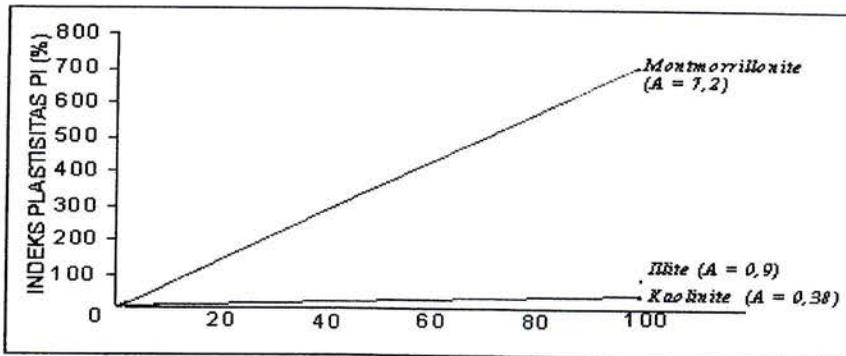
Pada umumnya, apabila lapisan ganda mengalami dehidrasi pada temperature rendah, sifat plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan mencampur air yang cukup dan “dikeringkan” (*curing*) selama 24 sampai 48 jam. Apabila dehidrasi terjadi pada temperature yang lebih tinggi, sifat plastisitasnya akan turun atau berkurang untuk selamanya. (*Bowles, 1991*).

b) Aktivitas (A)

(Hary Christady, 2002) merujuk pada (*Skempton, 1953*) mendefinisikan aktivitas tanah lempung ekspansif sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan persentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C, disederhanakan dalam persamaan berikut:

$$A = \frac{IP}{C} \dots\dots\dots (2.15)$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung ekspansif.



Gambar 2.7 Grafik Aktivitas Mineral Lempung (PI vs C)

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2002, *Mekanika Tanah 1*, hal. 48

Gambar diatas mengklasifikasikan mineral lempung ekspansif berdasarkan nilai aktivitasnya yakni :

1. *Montmorillonite* : Tanah lempung ekspansif dengan nilai aktivitas $(A) \geq 7,2$
2. *Illite* : Tanah lempung ekspansif dengan nilai aktivitas $(A) \geq 0,9$ dan $< 7,2$
3. *Kaolinite* : Tanah lempung ekspansif dengan nilai aktivitas $(A) \geq 0,38$ dan $< 0,9$
4. *Polygorskite* : Tanah lempung ekspansif dengan nilai aktivitas $(A) < 0,38$

c) *Flokulasi dan Disversi*

Apabila mineral lempung ekspansif terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (*amophus*) maka daya negative netto, ion-ion H^+ di dalam air, gaya *Van der Waals*, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok ("*flock*") yang berorientasi

secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralsir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (Ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi.

Lempung ekspansif yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic* ("*Thixotropic*"), dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

d) Pengaruh Zat Cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung ekspansif adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi.

Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung ekspansif. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti Karbon Tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung ekspansif tidak akan terjadi apapun.

e) Sifat Kembang Susut (*Swelling*)

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

1. Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
2. Kadar air.
3. Susunan tanah.
4. Konsentrasi garam dalam air pori.
5. Sementasi.
6. Adanya bahan organik, dll.

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung ekspansif tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung ekspansif semakin potensial untuk menyusut dan mengembang. Tabel 2.6 menunjukkan kemungkinan potensi ekspansi tanah hasil dari pengumpulan data uji pengembangan pada lempung dan tanah-tanah ekspansif oleh (*Holtz, 1969*). Sedang tabel 2.7 menunjukkan hal yang sama, dari hasil pengalaman (*Chen, 1988*) pada era *Rocky mountain*.

Tabel 2.6 Potensi Pengembangan

Potensi pengembangan	Pengembangan (%) (akibat tekanan 6,9 KPa)	Persen koloid (<0,001mm) (%)	Indek plastisitas PI (%)	Batas susut SL (%)	Batas cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20-30	20-31	25-41	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Sumber : *Holtz, 1969; Gibbs, 1969*

Tabel 2.7 Potensi Pengembangan

Potensi pengembangan	Persen lolos saringan no.20	Batas cair LL	N-SPT	Kemungkinan Ekspansif (%)	Tekanan Pengembangan (KPa)
Sangat tinggi	>95	>60	>30	>10	>1000
Tinggi	60-65	40-60	20-30	3-10	250-1000
Sedang	30-60	30-40	10-20	1-5	150-250
Rendah	<30	<31	<10	<1	<50

Sumber : *Chen 1988*

Tabel 2.8 Sifat Tanah Lempung Ekspansif

Tipe Tanah	Sifat	Uji Lapangan
Lempung Ekspansif	Sangat Lunak	Meleleh diantara jari ketika diperas
	Lunak	Dapat diperas dengan mudah
	Keras	Dapat diperas dengan tekanan jari yang kuat
	Kaku	Tidak dapat diremas dengan jari, tapi dapat digencet dengan ibu jari
	Sangat Kaku	Dapat digencet dengan kuku ibu jari

Sumber : *Mekanika Tanah 1, R.F CRAIG, 1989*

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung ekspansif mengalami perubahan volume atau mengalami pengembangan atau penyusutan ketika kadar air berubah, perubahan itulah yang membahayakan bangunan, maka dari itu air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung ekspansif. Perubahan volume berhubungan langsung dengan batas susut dan sebagian berkaitan pula dengan batas plastis dan batas cair. Tabel 2.9 memberikan hubungan kasar yang telah dijumpai dan cukup dapat diandalkan untuk meramalkan terjadinya perubahan volume. (*Bowles, 1991*)

Tabel 2.9 Hubungan batas Atterberg dan potensi perubahan volume

Potensi Perubahan Volume	Indeks Plastisitas		Batas Susut W_s
	Daerah Kering	Daerah Lembab	
Kecil	0 – 15	0 – 30	> 12
Sedang	15 – 30	30 – 50	10 – 12
Tinggi	> 30	> 50	< 12

Sumber: *Bowles, 1991*.

2.5 Struktur Tanah Berpasir

Struktur tanah pasir pada umumnya dapat dibagi 2 kategori pokok yaitu struktur butir tunggal (*single frained*) dan struktur sarang lebah (*honeycombed*). Pada struktur butir tunggal, butiran tanah berbeda dalam keadaan relative stabil dan tiap-tiap butir bersentuhan satu terhadap yang lain. Bentuk dan pembagian ukuran butiran tanah serta kedudukannya mempengaruhi sifat kepadatan tanah. Variasi angka pori yang disebabkan oleh kedudukan butiran. Untuk suatu susunan dalam keadaan lepas, angka pori adalah 0,9, tetapi angka pori berkurang menjadi 0,35 apabila butiran dipadatkan sedemikian rupa, sehingga susunan menjadi sangat padat (*Braja M. Das, 1993*).

Pada struktur sarang lebah, pasir halus dan lanau membentuk lengkungan-lengkungan kecil hingga merupakan rantai butiran. Tanah yang mempunyai struktur sarang lebah mempunyai angka pori besar dan biasanya dapat memikul beban statis yang tak begitu besar. Struktur tersebut bila dikenai beban berat atau beban getar, struktur tanah akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar.

BAB III

METODE PENELITIAN



Metode penelitian adalah cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban dari permasalahan yang diajukan dan keaslian suatu penelitian harus ditunjukkan juga dalam tabel masalah dengan cara mengungkapkan perbedaan / penyempurnaan yang dilakukan terhadap penelitian sejenis yang pernah dilakukan.

3.1. Rencana Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pekerjaan lapangan dan pekerjaan Laboratorium. Perencanaan penelitian penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan serta tepat waktu.

Masing-masing tahapan saling berkaitan karena tahapan tersebut merupakan suatu rangkaian yang bila salah satunya tidak dilakukan dengan baik akan mengakibatkan kelambatan pada lelanjutan tahap-tahap selanjutnya.

Perlunya penjadwalan yang tepat adalah guna proses pelaksanaan masing-masing tahapan dapat meminimalisir waktu sehingga dapat memaksimalkan waktu yang tersedia dan meringankan biaya kerja sehingga tahapan demi tahapan dapat berjalan dengan baik.

3.2. Persiapan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian dilakukan beberapa tahapan yaitu :

- a. Mengumpulkan informasi dan studi pendahuluan mengenai tanah lempung ekspansif, pasir dan cangkang kerang.
- b. Pembuatan proposal Skripsi.
- c. Mengkonsultasikan dengan Dosen Pembimbing Skripsi.
- d. Mengurus perijinan dari Laboratorium Mekanika Tanah STT Harapan.
- e. Pengambilan benda uji dilapangan yaitu tanah lempung ekspansif.
- f. Persiapan bahan stabilisasinya yaitu pasir dan cangkang kerang.
- g. Persiapan dilaboratorium yaitu mempersiapkan alat-alat yang dipakai.

3.3. Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Tanah

Sampel tanah yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah tanah yang diperoleh dari Desa Melati II Kecamatan Perbaungan Kabupaten Serdang Bedagai dengan kedalaman ± 50 cm dari permukaan tanah dalam keadaan tanah terganggu tanpa diperlakukan khusus cukup dimasukkan kedalam karung beras plastik dan langsung di bawa ke Laboratorium Mekanika Tanah STT Harapan.

b. Pasir

Sampel pasir yang digunakan sebagai bahan pencampur adalah pasir yang banyak tersedia dipanglong.

c. Cangkang kerang

Cangkang kerang dibeli dari pasar.

3.4. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah dengan melakukan pencampuran tanah lempung ekspansif dengan pasir dan cangkang kerang. Variasi campuran pasir dan cangkang kerang yaitu sebesar 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang dari berat sampel.

3.5. Proses Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan dengan tahap sebagai berikut ini.

3.5.1. Pekerjaan Persiapan

Dalam tahapan persiapan ini meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa narasumber, pengajuan proposal dan mengurus perijinan untuk kegiatan penelitian.

3.5.2. Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan adalah pengambilan sampel tanah dilokasi. Pekerjaan lapangan dilakukan dalam beberapa tahap, pemilihan lokasi dan pengambilan sampel

tanah. Sampel tanah yang diambil meliputi tanah terganggu (*disturb soil*) dan sampel tanah diambil di beberapa titik pada lokasi pengambilan sampel, hal ini dilakukan agar sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah yang mewakili tanah di lokasi pengambilan sampel. Sedangkan pasir dibeli dipanglong dan cangkang kerang dibeli dipasar.

3.5.3. Pekerjaan Laboratorium

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah STT Harapan.

Beberapa pengujian yang akan dilakukan diantaranya :

- a. Kadar air
- b. Analisa butiran
- c. Berat jenis tanah
- d. Batas Atterberg
- e. Pemasatan
- f. CBR

Dalam penelitian ini sampel uji terdiri dari masing-masing material asli dan campuran yang dibuat berdasarkan variasi penambahan pasir dan cangkang kerang sebagai bahan aditifnya yang jumlah penambahannya berdasarkan perencanaan dari peneliti sendiri. Sampel uji yang akan dibuat untuk masing-masing kategori secara detail adalah sebagai berikut :

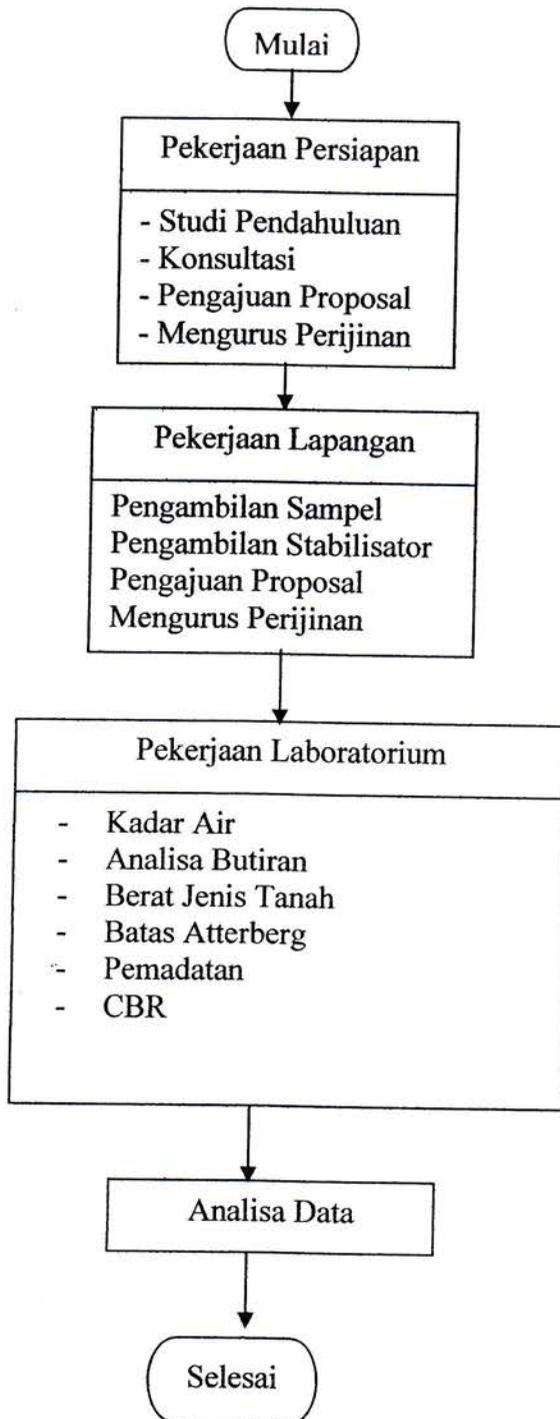
Tabel 3.1 Sampel Pengujian penelitian

No.	Pengujian	Jumlah Sampel				Total Jumlah Sampel
		asli	10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	
1	Pengujian Butiran	2	-	-	-	2
2	Pengujian Kadar Air.	4	4	4	4	16
3	Pengujian Berat Jenis.	2	2	2	2	8
4	Pengujian Batas Atterberg Batas Cair (LL) Batas Plastis (PL)					
		5	5	5	5	20
		2	2	2	2	8
5	Pengujian Pematatan Standar	5	5	5	5	20
6	Pengujian CBR.	1	1	1	1	4

Semakin banyak sampel maka data yang diperoleh akan lebih akurat namun dalam hal ini tidak samanya jumlah sampel dari masing-masing pengujian dikarenakan keterbatasan alat dan waktu pelaksanaan penelitian.

3.6. Bagan Alir Penelitian

Dalam Skripsi ini direncanakan pelaksanaannya berdasarkan bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1, sebagai berikut :



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.7. Langkah Kerja Penelitian

Dalam Skripsi ini, pelaksanaannya penelitian berdasarkan langkah kerja yang akan dijabarkan sebagai berikut :

3.7.1. Kadar Air

Kadar air tanah ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, cawan kedap udara, timbangan.

Prosedur pengujian meliputi tahapan-tahapan, antara lain :

- Tempatkan benda uji dalam cawan, lalu timbang dan catat beratnya.
- Keringkan dengan menggunakan oven ataupun dengan menggunakan kompor.
- Pelaksanaan pengeringan dapat dilakukan dengan oven.

Proses pengeringan dengan oven adalah dengan membuka tutup cawan dan taruh di dalam oven selama 24 jam. Lakukan penimbangan dan pengeringan secara berulang-ulang sehingga mencapai berat yang tetap. Setelah dingin lalu timbang dan Catat beratnya. Besarnya kadar air dinyatakan dalam persen dengan ketelitian satu angka di belakang koma.

3.7.2. Analisa Butiran

Cara pengujian analisa butiran tanah lempung adalah untuk keperluan analisa gradasi tanah / agregat. Alat-alat yang digunakan adalah oven, *Sieve Shaker*, dll

Prosedur percobaan adalah dengan cara menimbang sampel dan mengguncang sampel yang telah dimasukkan kedalam *Sieve Shaker* selama 10 menit lalu timbang masing-masing saringan dan hitung persentase dan nilai kumulatif dari masing-masing saringan.

3.7.3. Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat butir tanah dan berat isi air suling dengan isi sama pada suhu 27 °C. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain piknometer atau botol ukur, saringan, thermometer, oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, tungku listrik (*Hot Plate*), dll.

Tanah yang digunakan kering oven atau dijemur selama 24 jam. Sample disaring dengan saringan no.40. Stabilisator yang digunakan kering dijemur selama 24 jam dan disaring dengan saringan no.100.

Prosedur pengujian meliputi tahapan piknometer kosong ditimbang, masukkan tanah ke dalam piknometer 1/3 dari volume piknometer lalu ditimbang, diisi air sehingga piknometer terisi 2/3 dari volume piknometer, sehingga tanah terendam seluruhnya. setelah itu piknometer beserta tanah di didihkan sampai gelembungnya hilang selama 10 menit dan sekali-kali miringkan botol, kemudian tambahkan air

sampai penuh, lalu ukur suhunya kemudian timbang. Piknometer direndam selama 24 jam di dalam bejana agar suhunya konstan.

Piknometer ditimbang, setelah itu piknometer dikosongkan dan dibersihkan, kemudian diisi penuh dengan air, ditutup kemudian ditimbang. Harga berat jenis tanah diperoleh setelah melalui serangkaian tahapan perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus yang tersedia.

3.7.4. Batas Atterberg

Pengujian batas Atterberg meliputi Pengujian Batas Cair dan Batas Plastis. Batas Cair adalah batas kadar air dimana suatu tanah berubah dari keadaan plastis menjadi cair. Batas Plastis adalah kadar air minimum dimana suatu tanah berubah sifatnya dari keadaan plastis menjadi semi padat. Besaran batas plastis tanah biasanya digunakan untuk menentukan jenis, sifat, dan klasifikasi tanah.

Peralatan yang digunakan adalah alat batas cair standar (*Liquid Limit Device*), alat pembuat alur (*Grooving Tool*), sendok dempul atau sapatula, plat kaca (45 x 45 x 0,9 cm), neraca dengan ketelitian 0,01 gr, cawan kadar air, dll.

Tanah yang digunakan kering oven atau dijemur selama 24 jam. Sample disaring dengan saringan no.40. Stabilisator yang digunakan kering dijemur selama 24 jam dan disaring dengan saringan no.100.

Cara pengujian batas cair adalah contoh tanah diambil \pm 150-200 gram ditaruh dalam mangkuk dan diberi air suling sedikit demi sedikit kemudian aduk hingga merata (homogen), contoh tanah ditaruh dalam cawan batas cair, ratakan permukaan

contoh dalam cawan menjadi sejajar dengan alas, buat alur dengan menggunakan alat *grooving tool* tegak lurus permukaan contoh, setelah itu angkat dan turunkan cawan tersebut dengan kecepatan 2 putaran/detik (tinggi jatuh alat 1 cm), hentikan aksi tersebut jika alur sudah tertutup sepanjang $\pm 1,25$ cm dan hitung berapa ketukan yang dibutuhkan, ambil contoh tanah untuk diperiksa kadar airnya. Ulangi percobaan dengan kadar air yang berbeda. Apabila hasilnya sama sebagian sampel tersebut dimasukkan kedalam cawan dan timbang beratnya lalu dimasukkan kedalam oven selama 24 jam dan timbang kembali.

Peralatan yang digunakan adalah mangkuk pengaduk dari porselin, batang pengaduk, batang logam, neraca, cawan, oven, plat kaca dll.

Tanah yang digunakan kering oven atau dijemur selama 24 jam. Sample disaring dengan saringan no.40. Stabilisator yang digunakan kering dijemur selama 24 jam dan disaring dengan saringan no.100.

Prosedur pengujian meliputi rangkaian kegiatan :

- Letakkan benda uji di dalam mangkuk dan beri air sedikit demi sedikit sampai merata.
- Buat bola-bola tanah dari benda uji tersebut, kemudian gelengkan di atas plat kaca dengan menggunakan ujung jari.
- Lakukan penggelengan dilakukan sampai benda uji membentuk batang dengan diameter 3 mm.
- Jika sebelum mencapai 3 mm sudah retak, benda uji disatukan lagi dan beri sedikit air serta ulangi penggelengan.

- Jika telah tercapai batang dengan diameter 3 mm atau lebih kecil dari 3 mm, biarkan beberapa saat agar kadar airnya berkurang sedikit.
- Pengadukan dan penggelengan diulangi terus sampai retakan-retakan yang terjadi tepat pada saat gelengan mempunyai diameter 3 mm.
- Periksa kadar air tanah tersebut yang merupakan kadar air pada batas plastis tanah.

Contoh tanah dinyatakan non plastis (NP) bilamana batas cair atau batas plastis tidak dapat ditentukan.

3.7.5. Pemasatan

Pengujian pemsatan adalah untuk mengetahui hubungan antara kepadatan tanah dan nilai optimum kadar air yang akan digunakan sebagai standar kualitas kepadatan tanah.

Tanah yang digunakan kering oven atau dijemur selama 24 jam. Sampel disaring dengan saringan no.40. Stabilisator yang digunakan kering dijemur selama 24 jam dan disaring dengan saringan no.100.

Peralatan yang digunakan adalah Mold pemsat \varnothing 4", palu pemsat standar, *extruder mold*, pisau pemotong, sendok, cawan kadar air, dll.

Cara pengujiannya adalah timbang silinder tanpa alas dan penyambungannya, ukur diameter dan tingginya, setelah itu plat diolesi minyak kemudian masukkan contoh tanah, setelah itu pemsatan dibagi tiga lapis tiap lapis 25 kali secara merata,

sambungan dan plat alas dilepas dari silinder utama lalu permukaan silinder diratakan dengan pisau perata kemudian timbang dan catat beratnya, sampel tanah dikeluarkan dari silinder dengan alat pengeluar tanah kemudian dimasukkan ke dalam cawan yang diambil dari ketiga lapis sampel tersebut, setelah itu timbang dan catat beratnya kemudian cari kadar airnya.

3.7.6. Pengujian CBR

Pengujian CBR adalah untuk mengetahui besarnya perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Peralatan yang digunakan adalah mesin penetrasi yang dilengkapi alat pengukur beban, cetakan logam yang dilengkapi leher sambung, alat penumbuk, alat pengukur pengembangan, keping beban, arloji pengukur penetrasi, dll.

Tanah yang digunakan kering oven atau dijemur selama 24 jam. Sampel disaring dengan saringan no.4. Stabilisator yang digunakan kering dijemur selama 24 jam dan disaring dengan saringan no.100. Cara pengujiannya meliputi tahapan campur contoh tanah pada kadar air optimum $\pm 3 \%$, pemadatan bahan di dalam cetakan dengan jumlah tumbukan tertentu setelah itu periksa kadar airnya. Kemudian atur torak penetrasi pada permukaan benda uji dan berikan pembebanan dengan teratur sampai kecepatan penetrasi mendekati 1,27 mm/menit. Catat beban maksimum dan penetrasinya. Selanjutnya gambarkan grafik beban terhadap penetrasi.

Umumnya harga CBR diambil pada penetrasi 2,54 mm.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pada Bab ini akan di bahas hasil pengujian penggunaan pasir dan cangkang kerang sebagai stabilisasi tanah lempung. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah STT Harapan.

Secara garis besarnya, pada tahap uji Laboratorium yang dilakukan yaitu untuk mengetahui sifat fisik yaitu analisa butiran dan pengujian sifat mekanis tanah meliputi : kadar air, berat jenis, batas Atterberg, pemadatan standar dan pengujian CBR.

Sampel uji yang diujikan terdiri dari tanah asli dan tanah campuran. Tanah asli berupa tanah lempung, sedangkan campuran menggunakan bahan pasir dan cangkang kerang dengan variasi : campuran I 10% pasir + 0% cangkang kerang dari berat sampel, campuran II 0% pasir + 10% cangkang kerang dari berat sampel, campuran III 10% pasir + 10% cangkang kerang dari berat sampel. Sedangkan data detail hasil pengujian dan perhitungan laboratorium disajikan secara lengkap pada bagian lampiran laporan ini.

Pada Bab ini juga akan di bahas analisa data dari hasil pengujian yang telah dilakukan yang akan ditunjukkan dalam bentuk tabel maupun gambar sehingga dapat menunjukkan apakah ada perubahan atau tidak dari pencampuran yang dilakukan.

indeks Plastisitas (PI) lebih besar dari 32.63 %, pada tanah asli dan lolos saringan no. 200 < 36 maka tanah termasuk golongan A-7-6.

Untuk mendapatkan pengelompokan yang lebih detail maka dihitung indeks kelompoknya dengan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{GI} &= (\text{F}-35)[0,2+0,005 (\text{LL}-40)] + [0,01 (\text{F}-15)(\text{PI}-10)] \\ &= (37,28 - 35) \times [0,2 + 0,005 \times (48,65 - 40)] \\ &\quad + [0,01 \times (37,28 - 15) \times (32,63 - 10)] \\ &= 0,55 + 5,04 \\ &= 5,59 \\ &= 6 \end{aligned}$$

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem AASHTO maka tanah lempung yang diuji dapat dikategorikan ke dalam kelompok tanah berlempung A-7-6 (6) dengan penilaian umum sedang sampai buruk.

Menurut klasifikasi tanah sistem USCS Jika persentase butiran tanah lolos saringan no.200 > 12%, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan butiran tanah yang lolos saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya.

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS maka tanah lempung yang diuji dapat dikategorikan ke dalam kelompok CL yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (*Lean Clay*).

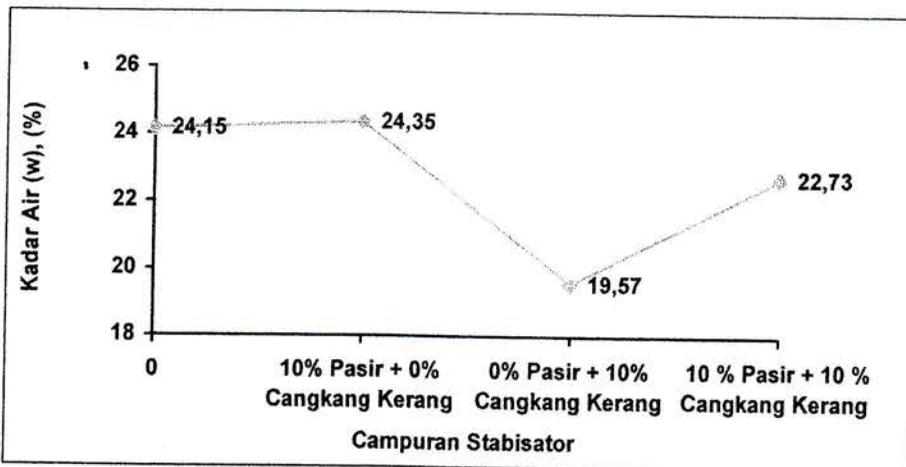
Berdasarkan klasifikasi tanah sistem ASTM maka tanah lempung yang diuji dapat dikategorikan ke dalam kelompok CL yaitu lempung anorganik dengan klasifikasi tanah lempung kurus.

4.2. Pengujian Kadar Air

Hasil Pengujian kadar air dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kadar Air

Perlakuan	Kadar Air (w) %
Tanah Asli	24.15
10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	24.35
0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	19.57
10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	22.73



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Kadar Air

Dari hasil pengujian kadar air tanah pada tabel 4.2 dan dapat digambarkan dalam gambar 4.1. Pada pengujian tersebut diperoleh nilai kadar air tanah asli sebesar

24,15 %, dan setelah dicampur menggunakan 10% pasir + 0% cangkang kerang terjadi kenaikan kadar air menjadi 24,35%. Pada campuran 0% pasir + 10% cangkang kerang terjadi penurunan 19,57% dan pada pencampuran 10% pasir + 10% cangkang kerang kenaikan menjadi 22,73%.

Hal ini menunjukkan pencampuran pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi kadar air tanah. tidak banyak berpengaruh terhadap kadar air tanah.

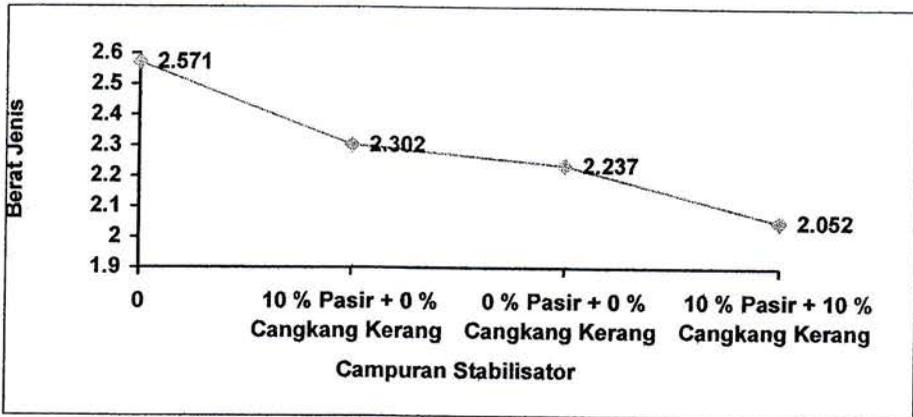
4.3. Pengujian Berat Jenis

Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis

Perlakuan	Berat Jenis (Gs)
Tanah Asli	2.571
10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	2.302
0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	2.237
10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	2.052

Pengujian berat jenis dilakukan pada temperatur 27 °C. Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat digambarkan sebagai berikut ini :



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Berat Jenis

Pada pengujian tersebut diperoleh nilai berat jenis tanah asli sebesar 2,571 dan tanah tersebut tergolong tanah lempung organik dan setelah dicampur menggunakan 10% pasir + 0% cangkang kerang terjadi penurunan menjadi 2,302. Pada 0% pasir + 10% cangkang berat jenis tanah menjadi 2,237 dan pada pencampuran 10% pasir + 10% cangkang berat jenis menjadi 2,052.

Hal ini menunjukkan bahwa baik pasir maupun cangkang kerang dapat mempengaruhi besar berat jenis dari tanah lempung tersebut. Semakin besar persentase penambahan campuran dari pasir dan cangkang kerang maka semakin kecil nilai berat jenis tanah tersebut.

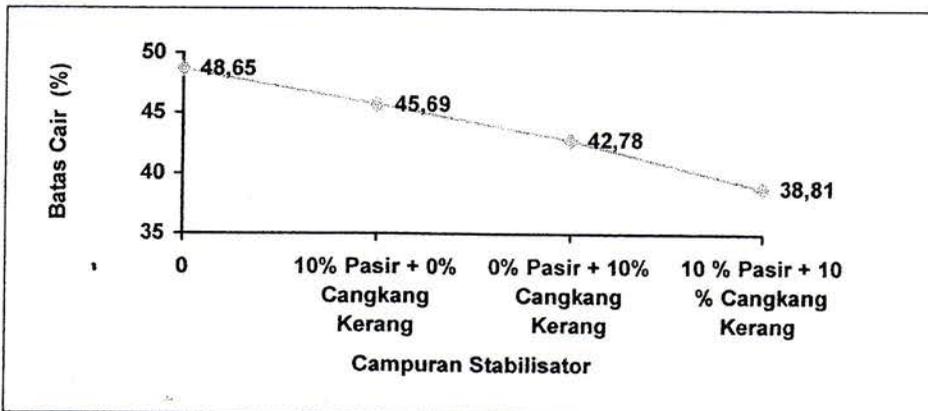
4.4. Pengujian Batas Atterberg

Hasil pengujian batas Atterberg dapat dilihat pada Tabel 4.4, sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Batas Cair dan Batas Plastis

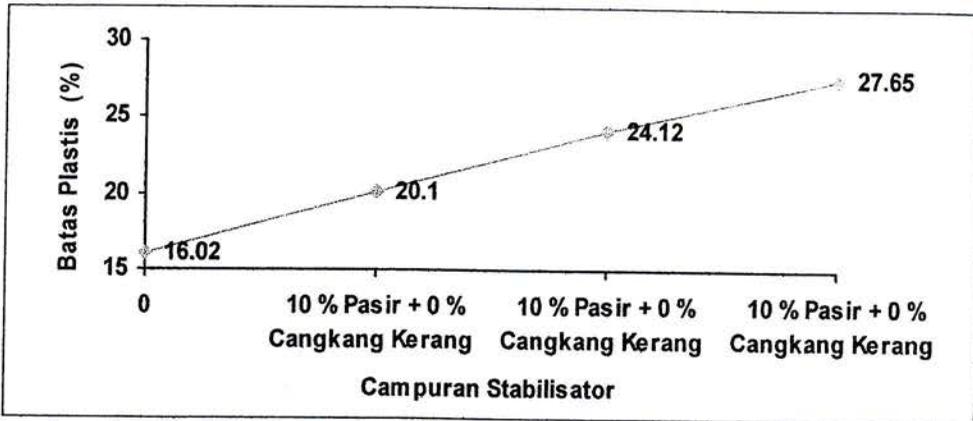
Perlakuan	Batas Cair (LL) (%)	Batas Plastis (PL) (%)	Indeks Plastis (PI) (%)
Tanah Asli	48.65	16.02	32.63
10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	45.69	20.10	25.49
0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	42.78	24.12	18.66
10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	38.81	27.65	11.16

Dari hasil pengujian batas Atterberg, dapat diperoleh nilai batas cair, nilai batas plastis dan nilai indeks plastis. Hasil tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



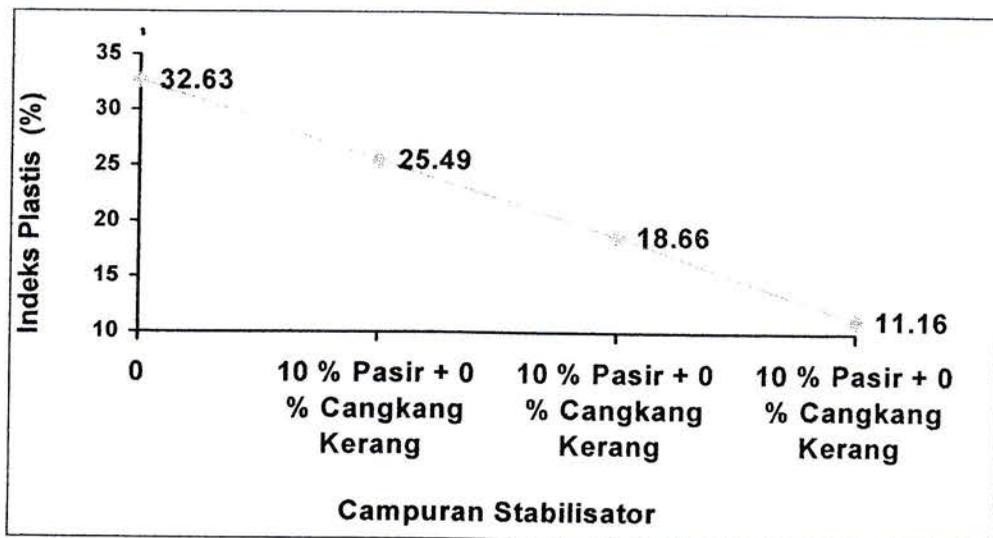
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Batas Cair

Dari hasil pengujian batas Atterberg, maka nilai batas cair seperti gambar 4.3, diperoleh nilai batas cair tanah asli sebesar 48,65% dan setelah dicampur dengan pasir dan cangkang kerang diperoleh penurunan terhadap tanah asli. Hal ini menunjukkan penggunaan pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi nilai batas cair dari tanah lempung.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Batas Plastis

Nilai batas plastis yang diperoleh seperti gambar 4.4. Pada pengujian tersebut diperoleh nilai batas plastis tanah asli sebesar 16.02 % dan setelah dicampur dengan pasir dan cangkang kerang diperoleh peningkatan nilai batas plastis terhadap tanah asli. Hal ini menunjukkan penggunaan pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi nilai batas plastis dari tanah lempung.



Gambar 4.5 Garfik Hubungan Persentase Campuran dengan Indeks Plastis

Nilai indeks plastis tanah, yang seperti ditunjukkan pada gambar 4.5, pada pengujian tersebut diperoleh nilai indeks plastis dari tanah asli sebesar 32.63 % dan setelah dicampur dengan pasir dan cangkang kerang diperoleh penurunan nilai indeks plastis terhadap tanah asli. Hal ini menunjukkan penggunaan pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi nilai batas cair dari tanah lempung.

Dengan kata lain nilai batas cair, nilai batas plastis dan nilai indeks plastis tanah lempung dapat dipengaruhi oleh penggunaan pasir dan cangkang kerang sebagai stabilisator.

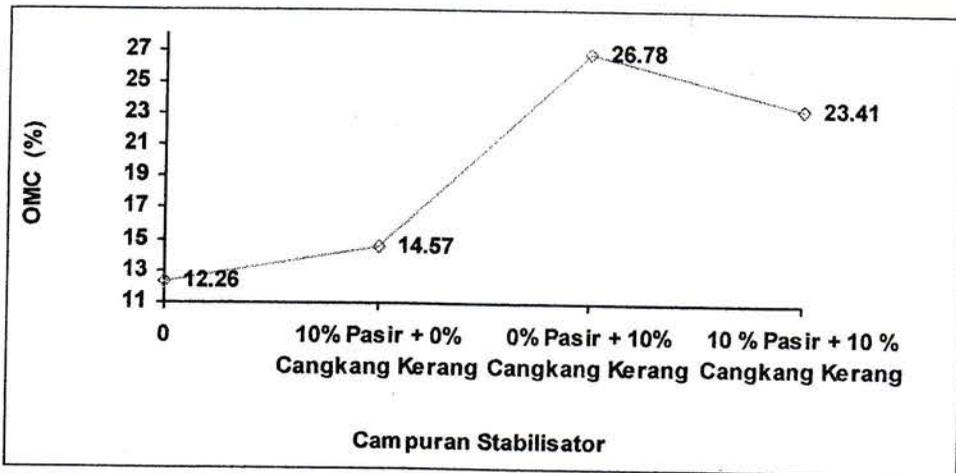
4.5. Pengujian Pemadatan Standar

Hasil dari pemadatan standar dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

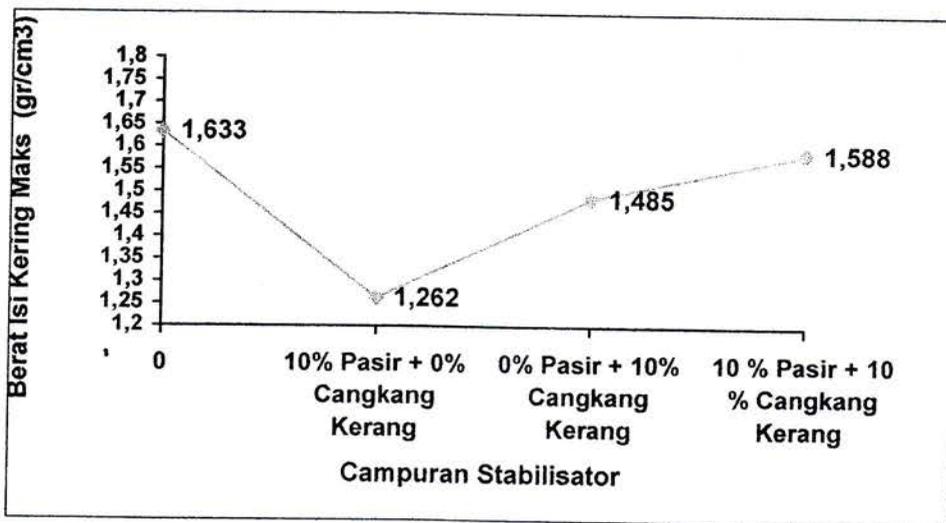
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pemadatan Standar

Perlakuan	OMC (%)	Berat Isi Kering Maks (gr/cm ³)
Tanah Asli	12.26	1.633
10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	14.57	1.262
0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	26.78	1.485
10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	32.41	1.588

Dari hasil pengujian pemadatan standar, dapat diperoleh nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering. Hasil tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan OMC



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Persentase Campuran dengan Berat Isi Kering Maks

Pada pengujian tersebut diperoleh perubahan nilai kadar air optimum dari pencampuran terhadap tanah asli dengan rata-rata perubahan yang terjadi 12.26% dan nilai kadar air optimum tertinggi terjadi pada pencampuran 0% pasir + 10% cangkang kerang yaitu menjadi 26,78%.

Dari hasil pengujian pemadatan tanah, maka nilai berat isi kering maksimum yang diperoleh seperti gambar 4.7. Pada pengujian tersebut diperoleh peningkatan nilai berat isi kering maksimum dari pencampuran terhadap tanah asli. peningkatan nilai berat isi kering maksimum terbesar terjadi pada pencampuran 10% pasir + 10% cangkang kerang yaitu menjadi 1.558 gr/cm^3 . Namun pada pencampuran 10% pasir + 0% cangkang kerang terjadi penurunan menjadi 1.262 gr/cm^3 .

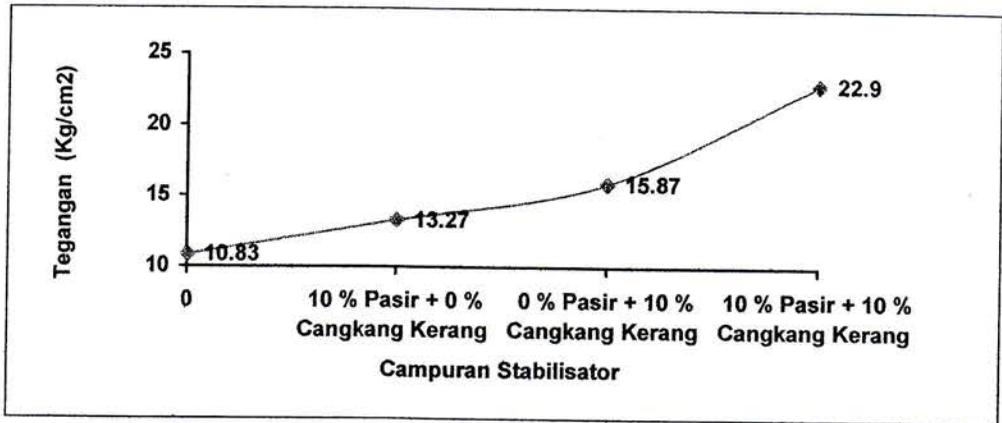
Hal ini menunjukkan pencampuran pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi besar nilai berat isi kering maksimum tanah asli. Semakin besar persentase campuran maka nilai indeks plastis semakin besar pula. Dengan kata lain nilai berat isi kering maksimum tanah lempung dapat ditingkatkan dengan cara penambahan pasir dan cangkang kerang.

4.6. Pengujian CBR

Pengujian CBR adalah untuk mengetahui besarnya perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Hasil dari CBR dapat dilihat pada Tabel 4.10, sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian CBR

Perlakuan	Nilai CBR (%)
Tanah Asli	10.38
10% Pasir + 0% Cangkang Kerang	13.27
0% Pasir + 10% Cangkang Kerang	15.87
10% Pasir + 10% Cangkang Kerang	22.90



Gambar 4.9 Hubungan Persentase Campuran dengan Nilai CBR

Pada pengujian tersebut diperoleh peningkatan nilai CBR dari pencampuran terhadap tanah asli dengan peningkatan nilai CBR terbesar terjadi pada pencampuran 10% pasir + 10% cangkang kerang yaitu menjadi 22.9%.

Hal ini menunjukkan pencampuran pasir dan cangkang kerang dapat mempengaruhi besar nilai CBR tanah asli.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari data hasil penelitian baik sifat fisis dan sifat mekanis tanah serta analisa berdasarkan grafik pembahasan terhadap contoh tanah asli dibandingkan dengan contoh tanah yang dicampur dengan campuran pasir dan cangkang kerang sebesar 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang, yang dipakai sebagai bahan stabilisasi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan sebagai tanah Ekspansif tinggi dengan nilai plastis indeks 32.63%.
2. Tanah yang diteliti tidak memenuhi syarat sebagai material konstruksi tanah dasar (*sub grade*) pada konstruksi seperti jalan raya maupun konstruksi yang memakai tanah dasar dengan kualitas, baik.
3. Pada pengujian tersebut diperoleh perubahan nilai kadar air optimum dari pencampuran terhadap tanah asli dengan rata-rata perubahan yang terjadi 23,41% dan nilai kadar air optimum tertinggi terjadi pada pencampuran 0% pasir + 10% cangkang kerang yaitu menjadi 26,78%.

4. Ditinjau secara umum, pemakaian campuran kombinasi semen dan kapur dengan kadar 10% pasir + 0% cangkang kerang, 0% pasir + 10% cangkang kerang, 10% pasir + 10% cangkang kerang, sebagai bahan stabilisasi tanah dapat meningkatkan nilai CBR pada percobaan pemadatan standard.
5. Dari hasil penelitian, bahwa semakin lama masa hidrasi yang digunakan maka nilai CBR akan semakin meningkat.
6. Setelah dilakukan penelitian dapat diambil bahwa semakin besar persentase pasir dan cangkang kerang maka nilai daya dukung tanah yang didapat akan meningkat.

5.2 Saran

1. Desain material yang diperoleh oleh penulis dapat juga digunakan pada daerah lain apabila memiliki sifat fisis dan mekanis yang relatif sama.
2. Perlu dilakukan penelitian terhadap jenis-jenis tanah yang lain untuk membuktikan bahwa pasir dan cangkang kerang dapat dijadikan bahan stabilisasi.
3. Dalam penelitian, perlu ditingkatkan persentase bahan stabilisasi agar diperoleh nilai daya dukung yang optimal.
4. Dalam penelitian, perlu ditingkatkan lama masa hidrasi agar diketahui nilai maksimum CBR.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. 1989. "*Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*". Edisi Kedua. Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. 1993. "*Mekanika Tanah I dan Teknik Pondasi*". Edisi pertama. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Crag, R. F. 1994. "*Mekanika Tanah*". Gelora Aksara Pratama. Edisi keempat. Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 1992. "*Mekanika Tanah I dan Teknik Pondasi*". Edisi pertama. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sudarsono, S. dan Nakazawa, K. 2000. "*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*". Cetakan Ketujuh. Pradaya, Jakarta.
- Laporan Praktikum. 2007. *Mekanika tanah*. Universitas Islam Sumatera Utara, Medan.