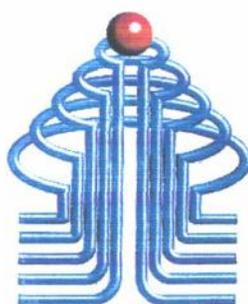


LAPORAN PENELITIAN

PENGGUNAAN BAHAN STABILISASI MILL UNTUK PERBAIKAN TANAH ORGANIK SEBAGAI TANAH DASAR PADA KONSTRUKSI JALAN RAYA

Dikerjakan Oleh :

Ir. Idrus M.Sc
Staff Pengajar Jurusan Sipil ISTN

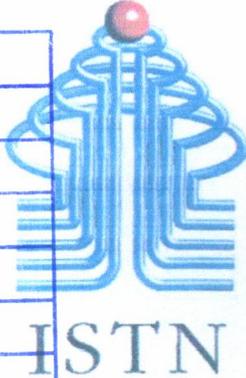


ISTN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
1994

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN**

Tanggal	: 21/02/1995
No. Inventaris	:
Kode Eksemplar	:
No. Panggil	:
Sumber	:
Lokasi	:
Paraf	:



**PENGGUNAAN BAHAN STABILISASI
MILL UNTUK PERBAIKAN TANAH
ORGANIK SEBAGAI TANAH
DASAR PADA KONSTRUKSI JALAN RAYA**

Dikerjakan Oleh:

Ir. Idrus M.Sc, (Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil)

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. Arimulyo Diah Utami, M.T

Program Studi Teknik Sipil
Institut Sain dan Teknologi Nasional
Jakarta 1994

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rakhmat dan Karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian ini dengan sebaik-baiknya.

Pembuatan Laporan Penelitian ini merupakan salah satu syarat akademis yang harus diselesaikan pada Fakultas Teknik Sipil - Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.

Laporan Penelitian ini berjudul **"Penggunaan Bahan Stabilisasi Mill Untuk Perbaikan Tanah Organik Sebagai Tanah Dasar Pada Konstruksi Jalan Raya"**.

Dalam menyusun laporan penelitian ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan - kekurangan, karena keterbatasan dan kemampuan yang ada. Walaupun demikian laporan penelitian ini telah dibuat dengan usaha semaksimal mungkin dengan dukungan dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak.

Penulis menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih kurang sempurna, oleh karena itu segala saran dan kritikan yang membangun akan penulis terima dengan senang hati.

DAFTAR ISI

	viii
* * * * *	
Alhamdulillah segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan sebaik-baiknya.	
Laporan Penelitian ini merupakan salah satu syarat akademis yang harus diselesaikan pada fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Andalas, Jakarta.	
Laporan Penelitian ini berjudul "Pengaruh Bahan Stabilitas Sili Untar Terhadap Tanah Organik Sebagai Tanah Dasar Pada Keras Basah Kaya".	
Dalam menyusun laporan penelitian ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan, dan ketertarikan dari teman-teman dan kerabat yang ada di sekitar penulis. Demikian laporan penelitian ini telah ditulis dengan usaha maksimal sehingga dengan bimbingan dan bantuan yang diberikan dan diberikan dapat terselesaikan.	
Penulis menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih banyak kekurangan oleh karena itu segala saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati.	

Akhir kata, mudah - mudahan laporan Penelitian ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi perkembangan ilmu Teknik Sipil.

Jakarta, 1994
Penulis

(Ir. IDRUS M.Sc)

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL DAN GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	3
1.3. Lingkup Pembahasan	4
1.4. Metodologi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Konstruksi Jalan Raya	6
2.1.1. Lapis Tanah Dasar (Subgrade) ...	7
2.1.2. Lapis Pondasi Bawah (Subbase Course)	10
2.2. Pengertian Dari Stabilisasi Tanah Dasar .	13
2.2.1. Prinsip - Prinsip Stabilisasi Tanah Dasar	14
2.2.2. Metoda - Metoda Stabilisasi Tanah	18
2.3. Kekuatan Geser Tanah	19
2.3.1. Kriteria Keruntuhan Mohr	19

2.3.2.	Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb	20
2.4.	Tanah Organik	23
2.5.	Mill (Dry Powder)	29
2.6.	Reaksi Kapur Terhadap Tanah	34
2.7.	Teori - Teori Laboratorium	36
2.7.1.	Berat Jenis (Spesifik Gravity) .	37
2.7.2.	Analisa Ukuran Butir	37
2.7.3.	Batas - Batas Atterberg	39
2.7.4.	Pemadatan (Compaction)	42
2.7.5.	California Bearing Ratio (CBR) .	57
2.7.6.	Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength)	64

BAB III PROGRAM KERJA DAN PROSEDUR PENGUJIAN DI

LABORATORIUM	65	
3.1.	Diagram Alir Kerja (Flow Diagram)	65
3.2.	Persiapan Material	67
3.3.	Prosedur Pencampuran	67
3.4.	Prosedur Pemeriksaan	69
3.4.1.	Pemeriksaan Berat Jenis Tanah ..	69
3.4.2.	Pemeriksaan Ukuran Butir	70
3.4.3.	Pemeriksaan Batas - Batas Atterberg	71
3.4.4.	Pemeriksaan Pemadatan	72

3.4.5.	Pemeriksaan California Bearing Ratio (CBR)	72
3.4.6.	Pemeriksaan Kuat Tekan Bebas ..	73
BAB IV	PENYAJIAN DATA DAN PEMBAHASAN	75
4.1.	Hasil Pengujian Tanah Asli	75
4.2.	Pengaruh Mill Terhadap Plastisitas Tanah.	78
4.3.	Pengaruh Campuran Mill Terhadap hubungan Antar Kepadatan Dan Kadar Air	82
4.4.	Pengaruh Penambahan Porsentase Mill Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)	84
4.5.	Pengaruh Penambahan Porsentase Mill Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Unconfined)	90
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1.	Kesimpulan	94
5.2.	Saran - Saran	96
DAFTAR FUSTAKA	97
LAMPIRAN	99

DAFTAR TABEL DAN GAMBAR

DAFTAR TABEL

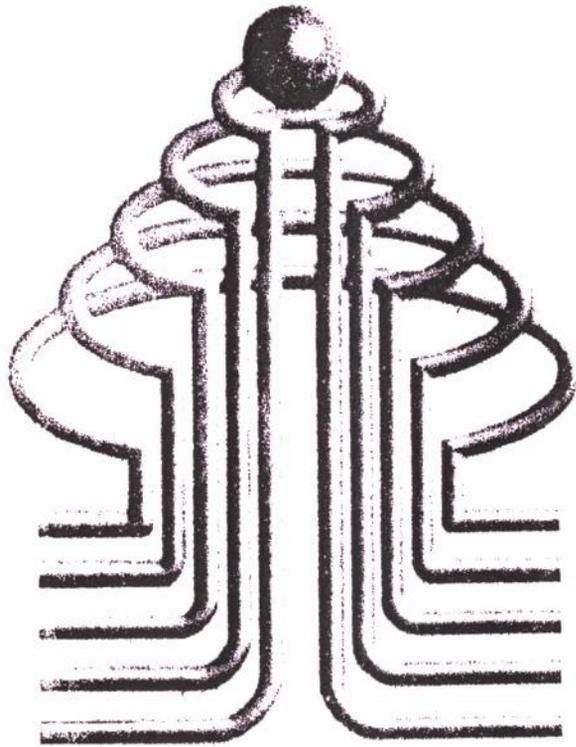
		Halaman
1.	Tabel 2.4.1. Bagan Klasifikasi Tanah Unified ...	30
2.	Tabel 2.7.1. Nilai CBR Dan Pemampatan tanah ..	63
3.	Tabel 4.2.1. Hasil Pemeriksaan Batas - Batas Atterberg dan Berat Jenis Tanah ...	81
4.	Tabel 4.3.1. Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar.	83
5.	Tabel 4.4.1. Hasil Pemeriksaan CBR Rendam (Soaked) Dengan Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)	87
6.	Tabel 4.4.2. Hasil Pemeriksaan CBR Tidak Rendam (Unsoaked) Dengan Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)	88
7.	Tabel 4.5.1. Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Bebas Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)	92

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
1.	Gambar 2.1.1. Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur	6

2.	Gambar 2.1.2.	Penentuan Tebal Perkerasan Dari Nilai CBR	11
3.	Gambar 2.2.1.	Cara - Cara Stabilisasi	17
4.	Gambar 2.3.1.	Selubung Keruntuhan Mohr Dan Mouhr Coulomb	21
5.	Gambar 2.7.1.	Grafik Pembagian ukuran Butir	38
6.	Gambar 2.7.2.	Batas - Batas Atterberg	40
7.	Gambar 2.7.3.	Penjelasan HOGENTOGLER Tentang Grafik Pemadatan	44
8.	Gambar 2.7.4.	Tegangan Kapiler Dalam Tanah	46
9.	Gambar 2.7.5.	Grafik Hasil Pengujian Pemadatan Standar	51
10.	Gambar 2.7.6.	Variasi Kepadatan Kering Dengan Kadar Air	53
11.	Gambar 2.7.7.	Grafik Untuk Mencari Kadar Air Optimum Kira - Kira Pada Pengujian Pemadatan Standar	54
12.	Gambar 2.7.8.	Contoh Koreksi Hasil	59
13.	Gambar 3.1.1.	Diagram Alir Dari Percobaan	66
14.	Gambar 4.1.1.	Grafik Plastisitas (Tanah Asli) ...	77
15.	Gambar 4.2.1.	Pengaruh Bahan Stabilisasi Mill Terhadap Plastisitas Tanah	81
16.	Gambar 4.3.1.	Hubungan Kerapatan Kering Dan Kadar Air	83
17.	Gambar 4.3.2.	Pengaruh Penambahan Mill Terhadap Karakteristik Pemadaatan	85

18. Gambar 4.3.3.	Pengaruh Penambahan Mill Terhadap Karakteristik Pemadatan	86
19. Gambar 4.4.1.	Hubungan Nilai CBR Terhadap Kadar Mill Pada Keadaan Terendam (Soaked).	87
20. Gambar 4.4.2.	Hubungan Nilai CBR Terhadap Kadar Mill Pada Keadaan Tidak Terendam (Unsoaked)	88
21. Gambar 4.5.1.	Pengaruh Mill Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas	92
22. gambar 4.5.2.	Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas Dengan Waktu Pemeraman	93



ISTN

BAB. I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana yang sangat penting untuk memperlancar sarana Transportasi arus perpindahan orang dan barang dari satu wilayah ke wilayah lainnya , sehingga dapat meningkatkan laju pertumbuhan kehidupan masyarakat sekitarnya.

Sebagai salah satu prasarana masyarakat, jalan harus mampu memberikan kenyamanan serta keamanan sehingga tidak menghambat laju perpindahan orang dan barang dari suatu wilayah ke wilayah lainnya, dapat mendukung terhadap perpindahan elemen - elemen bahan baku ke lokasi pabrik sehingga hasil produksi dapat berjalan dengan lancar dan sekaligus dapat memperlancar penyampaian hasil produksi dari pabrik ke konsumen yang membutuhkannya.

Dalam pembuatan jalan diperlukan suatu pelaksanaan yang terencana dengan baik, dari segi aksesibilitas, lebar geometrik jalan serta strukture perkerasan jalan. Ditinjau dari segi Strukture perkerasannya setiap perencanaan perkerasan baik itu perkerasan lentur maupun perkerasan kaku tidak terlepas dari kondisi tanah dasar (Subgrade) yang berfungsi menyebarkan beban diatasnya.

Kondisi tanah dasar tidak terlepas dari keadaan strukture tanah asli, sehingga perlu diselidiki terlebih dahulu.

Tanah merupakan suatu media yang sangat kompleks sifatnya, baik secara struktural (Physical Properties) maupun sifatnya (Engineering Properties) . Sebagaimana kita ketahui tanah dikenal dengan sifatnya yang bermacam - macam ada yang kenyal , keras dan lunak yang banyak mengandung bahan organik seperti banyak terdapat di Indonesia. Dengan sifat yang demikian itulah maka tanah memberikan kemungkinan yang luas dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi jalan.

Tanah dalam beberapa hal belum tentu langsung dapat digunakan sebagai lapis dasar perkerasan (Subgrade), apakah itu keseluruhan atau sebagian pada syarat - syarat yang ditentukan. Dalam hal ini ada beberapa alternatif yang dapat diambil :

1. Menerima tanah setempat sebagaimana apa adanya, serta merencanakan konstruksi sesuai dengan standar kualitas tanah yang ada.
2. Mengganti dengan tanah lain yang lebih baik.
3. Mengubah atau memperbaiki sifat - sifat tanah yang ada sehingga didapatkan sifat - sifat yang lebih baik sesuai dengan yang dikehendaknya.

alternatif terakhir inilah yang lazim disebut sebagai Stabilisasi Tanah Dasar . Banyak cara serta metoda yang berkembang pada dewasa ini dalam hal stabilisasi tanah dasar, tetapi perlu dilihat cara dan metoda yang tepat untuk digunakan serta pelaksanaan pekerjaan yang murah. Dengan bertitik tolak pada dasar dan kenyataan maka penggunaan bahan campuran dalam Stabilisasi harus mudah didapat serta murah harganya, keadaan alam Indonesia menjanjikan hal itu dengan bahan baku yang ada serta mudah untuk didapatkannya, oleh sebab itu sebaiknya kita harus dapat memampatkan semaksimal mungkin.

Disini akan dibahas masalah Penggunaan Bahan Stabilisasi Mill Untuk Perbaikan Tanah Organik Sebagai Tanah Dasar Pada Konstruksi Jalan Raya.

Mill merupakan bubuk halus hasil pembuangan bekas potongan industri marmer yang banyak terdapat di Indonesia. Biasanya Mill ini digunakan untuk campuran bahan baku Gips , Gypsun serta campuran pembuatan Ubin Traso.

1.2. Maksud dan Tujuan.

Maksud dan tujuan yang ingin dicapai dalam percobaan ini adalah dapat meningkatkan kekuatan Tanah Organik Sebagai Tanah Dasar Pada Konstruksi Jalan Raya, dapat meningkatkan fungsi tanah asli yang secara konstruktif yang semula hanya dapat berfungsi sebagai lapis tanah

dasar (Subgrade) dapat meningkat mutunya sehingga dapat berfungsi sebagai lapis pondasi bawah (Subbase).

1.3. Lingkup Pembahasan.

Dalam pengamatan dilaboratorium digunakan bahan uji jenis tanah sawah yang mengandung bahan Organik yang diambil dari daerah Srengseng Sawah.

Bahan pencampur sebagai bahan stabilisasi digunakan bahan Mill yang berbentuk bubuk halus dan berwarna putih hasil pembuangan industri pemotongan marmer dari daerah Citatah Padalarang Jawa Barat.

Adapun pengujian laboratorium yang dilakukan terhadap tanah asli adalah sebagai berikut :

1. Kadar Air Optimum (W_{opt}) %
2. Berat Isi Tanah (τ) gr / cm^3
3. Kadar Air (W) %
4. Angka Pori (e)
5. Derajat Kejenuhan (S_r) %
6. Berat Isi Kering (τ_d) %
7. Berat Jenis Tanah (G_s) gr/cm^3
8. Batas cair (LL) %
9. Batas Plastis (PL) %
10. Index Plastis (PI) %
11. Besaran Butir Lewat saringan (No: 200) %
12. Nilai CBR. %

13. Tekanan Bebas (q_u) kg/cm^2 .

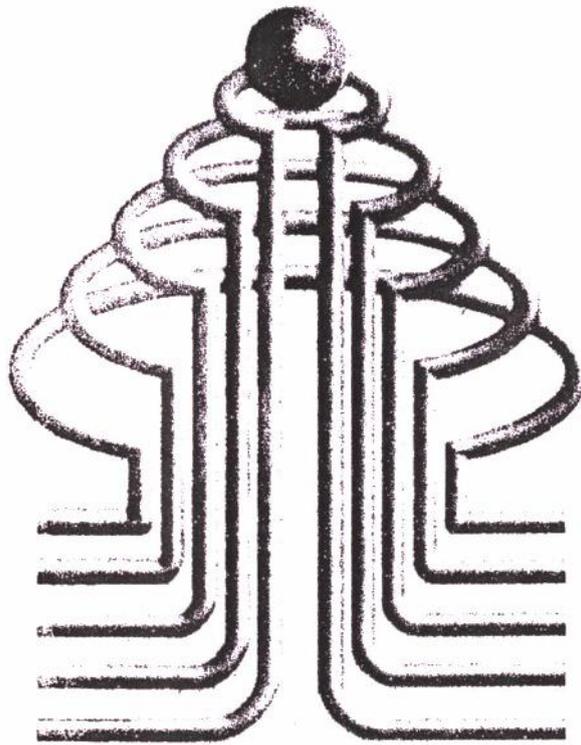
pemeriksaan tanah Organik + Mill dengan persentase campuran 2% , 4% , 6% dan 8% yang meliputi sifat fisik dan sifat tekniknya :

1. Pemadatan : Kadar Air Optimum (W_{opt}) %
2. California Bearing Ratio : Nilai CBR. %
3. Unconfined Compressive Strength Test: (q_u) kg/cm^2

benda uji yang dicetak maupun di dalam bak kaca diuji dalam kondisi kering (Unsoaked) dan terendam (Soaked) dengan masa pemeraman (Curing Time) 0 hari, 3 hari, 7 hari .

1.4. Metodologi Penulisan.

Metoda yang digunakan dalam penulisan ini yaitu : hasil pengamatan di laboratorium dan studi literatur yang didasarkan atas teori - teori, data dan hipotesa yang telah ada, dan kemudian dikembangkan sehingga menghasilkan suatu tulisan.



ISTN

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konstruksi Jalan Raya

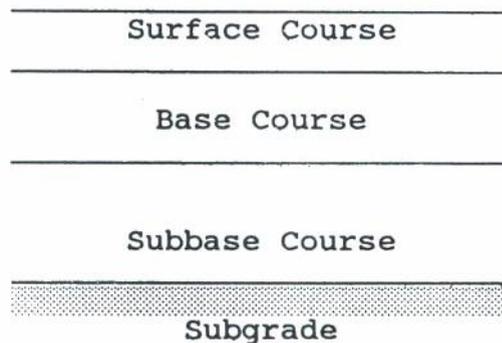
Didalam merencanakan suatu jalan perlu diperhatikan keadaan struktur dari konstruksinya, dalam hal ini keadaan lapisannya yang terdiri dari :

1. Tanah Dasar.
2. Struktur Perkerasan Jalan.

Untuk menetapkan besaran rencana tanah dasar serta material - materialnya yang akan menjadi suatu bagian dari konstruksi perkerasan, harus didasarkan atas penilaian hasil survey dan penyelidikan laboratorium.

Adapun struktur perkerasan jalan meliputi : lapis pondasi bawah (Subbase Course), lapis pondasi atas (Base Course), lapis permukaan (Surface Course) .

Susunan lapis konstruksi jalan dapat dilihat pada *Gambar 2.1.1.*



Gambar 2.1.1. Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur

Disini akan dibahas masalah "Penggunaan Bahan Stabilisasi Mill Untuk Perbaikan Tanah Organik Sebagai Tanah Dasar Pada Konstruksi Jalan Raya.

2.1.1. Lapis Tanah Dasar (Subgrade).

Tanah dasar adalah bagian yang berada dibawah struktur perkerasan jalan, fungsinya sebagai pendukung tegangan desak akibat beban lalu lintas yang telah disebarakan melalui lapis permukaan (Surface Course), lapis pondasi atas (Base Course), lapis pondasi bawah (Sub base Course).

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan, sangat tergantung dari sifat - sifat dan daya dukung tanah dasar. Dalam pelaksanaan dilapangan, tanah dasar ini dibersihkan dari bahan - bahan yang tidak diinginkan kemudian dipadatkan agar stabil sebagai pondasi bagi perkerasan diatasnya.

Kekuatan tanah dasar akan menentukan dalam pemilihan jenis konstruksi maupun tebal atau tipisnya suatu konstruksi perkerasan jalan. Semakin tinggi kekuatan tanah dasar, maka semakin tipis perkerasan yang dibuat. Sebaiknya jika kekuatan tanah dasar kecil maka konstruksi perkerasan jalan yang diperlukan semakin tebal.

Hal - hal yang perlu diperhatikan pada tanah

dasar adalah sebagai berikut 1).

1. Perubahan bentuk tetap (Deformasi Permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu-lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
3. Tidak seragamnya daya dukung tanah.
4. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu - lintas yang berulang sehingga terjadi penurunan.

Untuk sedapat mungkin mencegah timbulnya persoalan diatas serta mengingat begitu pentingnya peranan dan pengaruh dari tanah dasar terhadap perkerasan jalan, maka tanah dasar hendaknya dipersiapkan dengan mantap agar konstruksi jalan dapat berfungsi baik.

Biasanya kemantapan suatu tanah dilihat dari kekuatan tanah tersebut yang ditinjau dari daya dukungnya (CBR). Dalam hal ini tanah dasar (Subgrade) dapat diklasifikasikan dalam tiga tingkatan yaitu 2).

-
- 1) Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya No : 01/PD/BM/1983 Dep PU. Direktorat Bina Marga
 - 2) Ir. Moh Anas Aly, Tinjauan Terhadap Buku Pedoman Tebal Perkerasan No : 04/Pd/Bm/1974.PU.Direktorat Bina Marga

1. Nilai CBR (2% - 5%) tanah jelek.
2. Nilai CBR (5% - 9%) tanah sedang
3. Nilai CBR > 9% tanah baik.

Ditanah air kita jarang sekali dijumpai jenis tanah yang demikian saja dapat dipadatkan hingga mencapai nilai CBR yang tinggi. Dengan rencana muatan lalu - lintas yang berat untuk sekarang ini maka dapat kita simpulkan bahwa permasalahan stabilisasi ini perlu untuk diperhatikan secara cepat dan tepat.

Stabilisasi tanah ini disamping untuk tujuan tertentu lainnya misalnya untuk impermeabilitas dan mengurangi debu serta merupakan perbaikan tanah yang kurang baik, sering juga dimanfaatkan untuk meningkatkan mutu dari tanah yang kurang baik.

Metoda CBR (California Bearing Ratio) merupakan cara untuk menentukan tebal perkerasan, yang dikembangkan oleh California State Highway Department, maupun oleh U.S. Army Corps cukup baik. Dimana metoda ini menggunakan suatu grafik yang dibuat oleh The Asphalt Institute. Dari grafik tersebut dapatlah kita tarik suatu kesimpulan untuk suatu harga CBR tertentu akan memberikan tebal perkerasan tertentu pula. Seperti

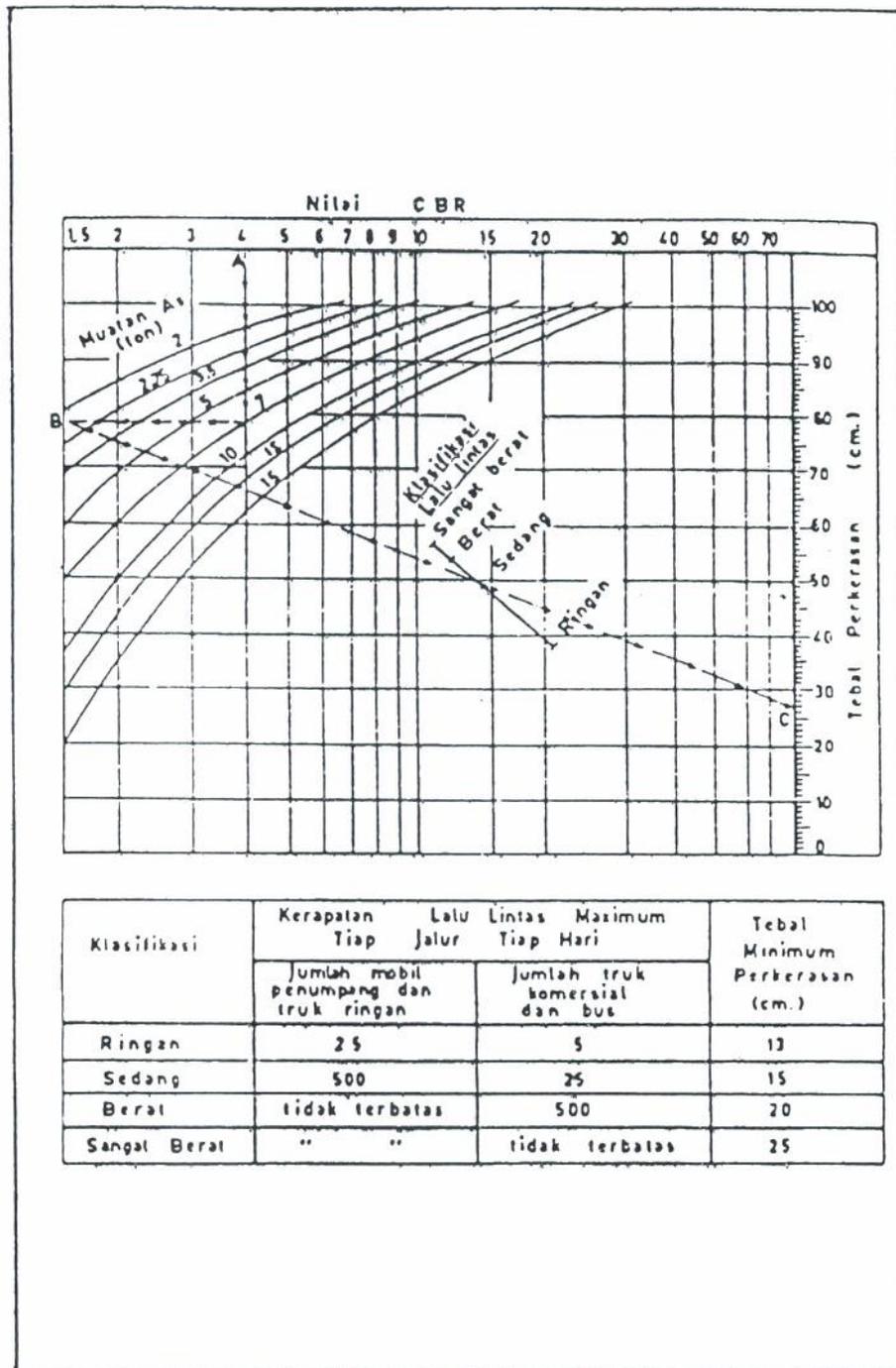
contoh pada *Gambar 2.1.2.*, misalnya nilai CBR = 4 dan as tekanan gandar = 7 ton, lalu lintas sedang, maka kita mendapatkan tebal perkerasan = 26 cm. sedangkan untuk hal yang sama dengan nilai CBR = 7 kita dapatkan tebal perkerasan = 20 cm.

2.1.2. Lapis Pondasi Bawah (Subbase Course).

Lapis pondasi bawah (Subbase Course) adalah lapisan yang terletak antara tanah dasar dan lapis pondasi atas (Perkerasan). Untuk keadaan tertentu yaitu pada perkerasan jalan dengan lalu - lintas yang padat biasanya lapis pondasi bawah termasuk bagian dari perkerasan ³⁾.

Lapis pondasi bawah (Subbase Course) dapat terdiri dari lapisan tanah yang dipadatkan. Jadi apabila terdapat kelebihan tanah galian yang tergolong cukup baik pada suatu tempat dapat dipersiapkan untuk lapis pondasi bawah (Subbase Course). Mengingat lapis pondasi bawah (Subbase Course) harus lebih mantap dari lapis tanah dasar (Subgrade), maka dari segi mutu bahan, bahan lapis pondasi bawah (Subbase Course) harus dipilih material yang mempunyai mutu lebih baik dari mutu bahan lapis tanah dasar (Subgrade).

3) *Sargios, Pavement and Surfacing For Highways and Air Port, 1975*



Gambar 2.1.2. Penentuan Tebal Perkerasan Dari Nilai CBR
 ("THICKNESS DESIGN" The Asphalt Institute, June 1956)

Mengingat persyaratan kekuatan, atau daya dukung yang dituntut bagi lapis pondasi bawah (Subbase Course), maka nilai CBR lapis pondasi bawah (Subbase Course) adalah 20%⁴⁾, maka biasanya material lapis pondasi bawah (Subbase Course) terdiri dari pasir dan batu (Sirtu) dengan gradasi tertentu, tetapi suatu jenis tanah yang relatif lebih baik dari tanah dasar (Subgrade) dapat juga digunakan sebagai bahan lapis pondasi bawah (Subbase Course) apabila tanah tersebut dapat mencapai kekuatan yang dipersyaratkan untuk lapis pondasi bawah (Subbase Course) , fungsi dari pondasi bawah (Subbase Course) antara lain :

1. Mengurangi tegangan desak didalam subgrade, yaitu menyebarkan gaya yang diterima lapis permukaan sehingga tekanan yang sampai ke lapisan tanah dasar (Subgrade) tidak melebihi daya dukungnya.
2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan - lapisan di atasnya dapat dikurangi tebalnya (Penghematan biaya konstruksi).

4). Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya
No:01/PD/BM/1983 Dep.P.U.Direktorat Jenderal Bina Marga

3. Sebagai lapis pertama (Lantai Kerja) pada saat pelaksanaan dilapangan berlangsung. Hal ini sehubungan dengan kurang mampunya tanah dasar untuk menerima beban roda yang diberikan oleh alat - alat besar.
4. Memberikan daya dukung yang seragam.
5. Meneruskan kapasitas daya dukung yang diberikan oleh tanah dasar (Subgrade).
6. Mencegah masuknya butiran - butiran yang halus dari tanah dasar (Subgrade) kelapisan pondasi atas (Base Course).
7. Mencegah terjadinya Pumping.

2.2. Pengertian Dari Stabilisasi Tanah Dasar.

Pada pembangunan suatu badan jalan, keadaan atau sifat dari tanah perlu ditinjau untuk mengetahui apakah tanah tersebut cukup memadai untuk digunakan sebagai lapis dasar perkerasan.

Tanah dalam beberapa hal belum tentu langsung dapat digunakan di dalam pelaksanaan pekerjaan, apakah itu keseluruhannya atau hanya sebahagian saja dengan syarat - syarat yang ditentukan. Jarang sekali dijumpai tanah yang demikian saja dapat dipakai serta dipadatkan hingga mencapai nilai kekuatan (Daya dukung) yang tinggi, sesuai dengan yang diinginkan.

Dalam hal ini stabilisasi tanah (Soil Stabiliza-

tion) adalah salah satu cara yang dapat dipakai untuk meningkatkan mutu tanah dasar sebelum digunakan. Karena dengan stabilisasi tanah, berarti mencampur tanah dengan suatu bahan tertentu yang berguna untuk mengubah atau memperbaiki mutu tanah asli, sehingga nantinya dapat diharapkan suatu sifat tanah yang lebih baik sesuai dengan yang dikehendaki.

2.2.1. Prinsip - Prinsip Stabilisasi Tanah Dasar

Tanah dalam keadaan asli merupakan suatu bahan yang kompleks dan sangat bervariasi kandungan mineralnya. Dengan adanya sifat tersebut, maka tanah memberikan yang luas dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi jalan.

Dalam hal ini ada beberapa alternatif yang perlu diambil sebagai syarat dalam penggunaannya dalam pelaksanaan pekerjaan yang dilakukan di lapangan. 5) :

1. Menerima tanah setempat sebagaimana apa adanya serta merencanakan konstruksi sesuai dengan standar kualitas tanah yang ada.
2. Mengganti dengan tanah atau material yang lebih baik.

5) Ingles, O.G. & Metcalf, J,b., Soil Stabilization Principles and Practice. Butterworths, Sidney, 1972

3. Memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada baik dengan atau tanpa bahan tambahan, sehingga didapatkan sifat - sifat yang lebih baik sesuai dengan yang dikehendaki.

Alternatif terakhir inilah yang lazim disebut sebagai stabilisasi tanah.

Sifat-sifat tanah dapat diperbaiki dengan berbagai cara seperti dipadatkan, dicampur dengan bahan-bahan kimia seperti semen, kapur, garam dapur, abu sekam, Mill dan lain-lain. Pada kenyataannya tidak satu metoda perbaikan tanahpun, yang dapat dilakukan pada setiap jenis tanah dengan hasil yang sama baiknya, hal ini disebabkan oleh keaneka-ragaman sifat masing-masing jenis tanah yang satu sama lainnya berbeda.

Menurut Arpad Kezdi (1979) , ada 3 (tiga) cara perbaikan tanah untuk konstruksi jalan raya yaitu sebagai berikut lihat Gambar 2.2.1. : 6)

1. Cara Mekanis :

Yaitu metoda perbaikan tanah yang dilakukan tanpa penambahan bahan-bahan lain. Usaha perbaikan terhadap sifat-sifat tanah tersebut dapat direalisasikan sebagai berikut:

6) Kezdi, Arpad, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1979.

- Membuang udara (mengurangi volume rongga) dari tanah dengan pemadatan.
- Menjaga kadar air dalam suatu batas yang konstan misalnya dengan pemasangan saluran drainase (mengontrol air tanah).
- Memperbaiki gradasi, yaitu menambah fraksi tanah yang kurang, atau membuang fraksi yang tidak diinginkan.

2. Cara Fisik :

Yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi, seperti :

- Hidrasi (pada proses hidrasi semen akan terbentuk ikatan antar partikel tanah).
- Adsorpsi / penyerapan air (seperti yang terjadi pada Stabilisasi kapur).
- Perubahan temperatur (Pada Stabilisasi Bitumen).
- Evaporasi (Penguapan) dan sebagainya.

3. Cara Kimiawi :

Dengan reaksi-reaksi kimia yang terjadi akan mengakibatkan perubahan pada sifat-sifat tanah antara lain :

- Pertukaran Ion
- Presipitasi

- Polimerisasi
- Oksidasi



Gambar 2.2.1. Cara - Cara Stabilisasi

Selain ketiga cara tersebut, metoda perbaikan tanah dapat juga digolongkan dengan melihat tujuan yang ingin dicapai seperti :

1. Perbaikan pada sifat - sifat tanah tanpa penambahan material baru, biasanya dilakukan dengan pemadatan.
2. Perbaikan yang diutamakan pada peningkatan kekuatan yang ingin dicapai, biasanya dengan penambahan bahan-bahan tertentu (semen, aspal kapur, mill dan sebagainya) atau secara

kimiawi.

3. Daya tahan terhadap pengaruh air yaitu dengan bitumen.
4. Perlindungan terhadap erosi, yaitu dengan penambahan garam dapur / bahan-bahan berserat, atau bahan kimia khusus.

2.2.2. Metoda - Metoda Stabilisasi Tanah.

Pada konstruksi jalan raya, perbaikan tanah dasar merupakan stabilisasi tanah dangkal, hal mana memungkinkan berbagai macam metoda perbaikan yang digunakan. Metoda stabilisasi tanah yang lazim digunakan pada konstruksi jalan diantaranya sebagai berikut :

1. Stabilisasi Mekanis :

Merupakan metoda dasar bagi stabilisasi tanah, karena perbaikan tanah dengan metoda lainnya tanpa terkecuali selalu diikuti dengan pemadatan.

2. Perbaikan Gradasi.
3. Stabilisasi dengan Kapur.
4. Stabilisasi dengan Aspal.
5. Stabilisasi dengan Semen.
6. Stabilisasi dengan geotextile.
7. Stabilisasi dengan Garam dapur.

8. Stabilisasi dengan Abu sekam.

Dalam pembahasan dibawah ini ialah metoda stabilisasi dengan menggunakan Bahan Stabilisasi Mill pada tanah Organik.

2.3. Kekuatan Geser Tanah.

Definisi dari kekuatan geser tanah dari suatu massa adalah tahanan dalam per satuan luas massa tanah yang dapat menahan keruntuhan dan tergelincirnya massa tanah sepanjang bidang didalam massa tanah.

Nilai kekuatan geser tanah antara lain diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah atau untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah.

Beberapa kriteria keruntuhan yang umum yang digunakan didalam mekanika tanah ⁷⁾ :

2.3.1. Kriteria Keruntuhan Mohr.

Mohr (1900) menggunakan teori keruntuhan pada suatu material sebagai berikut : suatu keruntuhan yang terjadi pada material diakibatkan oleh kombinasi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Kombinasi antara tegangan normal dan tegangan geser bidang keruntuhan dinyatakan dalam bentuk :

7) Suhardjito Paradoto, Teori, *Petunjuk Laboratorium dan Contoh Soal Tentang Kekuatan Geser Tanah*, TSP. ITB

$$\tau_f = f (\delta) \quad \dots\dots(2.3.1.)$$

persamaan 2.3.1. memberikan selubung keruntuhan dalam bentuk kurva dan disebut selubung Mohr.

2.3.2. Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb.

Kriteria keruntuhan ini berlaku khususnya untuk material yang berwujud massa tanah. Oleh karena hanya berlaku untuk tanah, maka kombinasi antara tegangan geser dan tegangan juga, memasukkan sifat - sifat tanah dan dinyatakan dalam bentuk.

$$\tau_f = c + \delta \tan \phi \quad \dots\dots(2.3.2.)$$

Dimana :

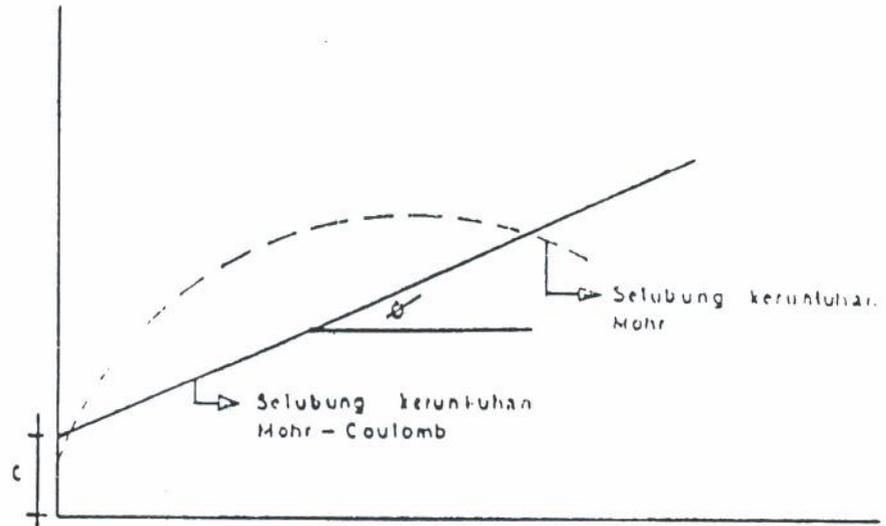
τ_f = Tegangan geser pada waktu runtuh.

δ = Tegangan normal yang bekerja pada massa tanah.

c = Kohesi

$\tan \phi$ = Sudut Geser Dalam.

Pada persamaan 2.3.2., karena pada massa tanah oleh Coulomb (1776) dikatakan bahwa tegangan yang berupa fungsi tegangan normal dan bekerja pada bidang keruntuhan dapat diketahui sebagai fungsi linier lihat dalam *Gambar 2.3.1.*



Gambar 2.3.1.

Selubung Keruntuhan Mohr Dan Mohr Coulomb

Untuk mendapatkan parameter - parameter kekuatan geser antara lain adalah 8) :

1. Uji tekan tak terkekang (Unconfined Compression) atau uji "qu". Pengujian ini disebut juga uji tidak terkonsolidasi tak terdrainase.

Uji tekan tak terkekang sangat banyak dilakukan karena dalam pelaksanaannya sangat sederhana sekali, dimana tekanan atmosfer mengelilingi contoh tanah. Dari satu lingkungan yang merupakan rata - rata dari sejumlah pengujian, kita hanya dapat mengekstrapolasi kemiringan selubung keruntuhan sebagai $\phi = 0$ dan

8) Bowles, Joseph E, Sifat - sifat Fisis dan Geoteknis Tanah Edisi kedua, Penerbit Erlangga 1989.

kekuatan geser tak terdrainase.

Sejumlah ahli berpendapat bahwa apabila terdapat air, suatu tekanan "kekang" efektif akan terdapat secara internal didalam contoh uji tekan zat terkekang akibat pengaruh kapiler dan bahwa pengaruh ini dapat secara efektif mengekang contoh itu sama seperti keadaan lapangan. Apabila hal ini benar, ukuran butir, retakan akibat tegangan atau retakan besar dan kelembaban laboratorium akan merupakan pertimbangan - pertimbangan yang penting.

2. Uji geser langsung (Direct Shear) dan uji geser sederhana langsung (Direct Simple Shear).

Uji geser langsung merupakan uji yang sederhana dan langsung dan merupakan uji yang kedua yang termurah. Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah kedalam kotak geser. Kotak ini terbelah, dengan setengah bagian yang bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas bebas untuk bertranslasi. uji geser langsung menentukan arah dan lokasi bidang keruntuhan yaitu pada lokasi belahan kotak dan sejajar dengan beban horizontal.

3. Uji tekan terkekang (Confined Compression) atau uji Triaksial yang dianggap sebagai suatu uji yang menghasilkan parameter - parameter dan data tegangan regangan yang terbaik. Ini benar hanya apabila dapat diperoleh contoh tanah yang " Tidak Terganggu " dan

secara teliti merapkannya sesuai dengan ukuran yang dikehendaki dan memasukkannya kedalam membran karet. Dimensi contoh pada umumnya berkisar antara 35 mm sampai 75 mm dalam diameternya. Contoh dengan diameter 100 mm dan lebih besar dapat diuji didalam sel - sel khusus tetapi pengambilan contoh sebesar ini dari lubang pemboran akan memerlukan biaya yang cukup besar.

Pada umumnya, minimum tiga uji kekuatan harus dilakukan karena mengambil nilai rata - rata dari hasil 2 buah pengujian mungkin akan memberikan hasil yang buruk apabila salah satu hasilnya tinggi dan hasil lainnya rendah. Dengan tiga pengujian, nilai - nilai yang terlalu besar atau terlalu kecil dapat diabaikan atau tidak dipakai.

2.4. Tanah Organik.

Tanah Organik merupakan jenis tanah yang mempunyai butiran halus yang dapat dibedakan secara visual ataupun di laboratorium,

Jenis tanah ini mempunyai bau yang sangat menyengat, berwarna kehitam - hitaman, mempunyai kadar air yang tinggi serta banyak mengandung sisa tumbuh - tumbuhan. Jenis tanah ini sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan.

Tanah khusus dari kelompok ini adalah "Peat" ,

humus, tanah lumpur dengan tekstur Organik yang tinggi.

Klasifikasi tanah adalah cara untuk menentukan jenis tanah sehingga diperoleh gambaran sepintas tentang sifat - sifat tanah. Sebagaimana diketahui tanah terbentuk sebagai akibat perubahan cuaca, keadaan medan dan adanya tumbuh - tumbuhan selama waktu yang lama. Sehingga untuk mendiskripsi tanah dibutuhkan pengetahuan tentang sifat - sifat asli tanah, formasi batuanannya, ukuran butirnya, Warna, tekstur dan konsistensi dari tanah yang bersangkutan. Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang obyektif, biasanya tanah secara sepintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis.

Untuk menentukan klasifikasi tanah kita lihat cara U.S.C.S. (Unified Soil Classification System), sistem ini diusulkan oleh Prof. Arthur Cassagrande yang didasarkan pada Sifat Tekstur Tanah ⁹⁾.

Prof. Arthur Cassagrande mengelompokkan tanah dengan simbol - simbol tertentu , yaitu:

1. Simbol Komponen :

- Kerikil = G (Gravel)
- Pasir = S (Sand)
- Lanau = M (Mo)
- Lempung = C (Clay)

9) Bowles, Joseph E, Sifat - sifat Fisis dan Geoteknis Tanah
Edisi kedua, Penerbit Erlangga 1989.

- Organik = O (Organic)

- Humus = Pt (Peat)

2. Simbol Gradasi.

- Bergradasi Baik = W (Well Graded)

- Bergradasi Buruk = P (Poorly Graded)

3. Simbol Batas Cair.

- Tinggi = H (High)

- Rendah = L (Low)

Prof. Arthur Cassagrande menempatkan tanah dalam 3 (Tiga) kelompok :

1. Tanah Berbutir Kasar.

Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan No. 200 < 50%, tanah berbutir kasar dibagi atas : Kerikil dan tanah kerikilan (G), Pasir dan tanah kepasiran (S).

Yang termasuk dalam kerikil tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan No. 4 < 50% sedang tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan No. 4 > 50% termasuk kelompok pasir. Baik pasir maupun kerikil dibagi lagi dalam 4 kelompok :

a. Kelompok GW dan SW : tanah kerikilan dan kepasiran yang bergradasi baik dengan butiran halus yang sedikit atau tanpa butiran halus yang non plastis (Lolos saringan No. 200 < 5 %). Syarat yang

harus dipenuhi :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad \dots\dots(2.4.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara } 1-3 \quad \dots(2.4.2)$$

b. Kelompok GP dan SP : tanah kerikilan dan kepasiran yang bergradasi buruk dengan butiran halus sedikit yang non plastis. (Tidak memenuhi persyaratan C_u dan C_c).

c. Kelompok GM dan SM : mencakup tanah kerikil atau pasir kelanauan (lolos saringan No. 200 > 12%) dengan plastisitas rendah atau non plastis.

Batas Cair dan Indeks Plastis terletak di bawah garis A. Dalam kelompok ini bisa termasuk baik yang bergradasi baik maupun yang bergradasi buruk. Biasanya kelompok ini tidak mempunyai kekuatan kering atau hanya sedikit sekali.

GM dan SM masing - masing dibagi lagi dalam subkelompok dengan menambahkan huruf d dan u; jika batas cair < 25 % dan Indeks Plastisitas < 5 dan u untuk sebaliknya.

Jika simbol khusus misalnya adalah GMd, GMu, SMd atau SMu.

d. Kelompok GC dan SC : mencakup tanah kerikilan atau kepasiran dengan butiran halus (Lolos saringan

No. 200 < 12%) lebih bersifat lempung dengan plastisitas rendah sampai tinggi.

batas Cair dan Indeks Plastisitas tanah ini terletak di atas garis A dalam grafik Plastisitas.

2. Tanah Berbutir Halus.

Tanah berbutir halus adalah tanah dengan prosentase lolos saringan No, 200 > 50%. Jenis tanah ini dibagi dalam Lanau (M) yang berasal dari bahasa Swedia Mo/Myala dan Lempung (C) yang didasarkan pada Batas Cair dan Indeks Plastisitasnya. Juga Tanah Organik (O) termasuk dalam fraksi ini.

Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai Batas cair dan Indeks Plastisitas terletak di bawah garis A dan Lempung berada di atas garis A.

Lempung Organik adalah pengecualian dari peraturan di atas karena Batas cair dan Indeks plastisitasnya berada di bawah garis A.

Lanau, Lempung dan tanah Organik dibagi lagi menjadi Batas cair yang rendah (L) dan Tinggi (H).

Garis pembagi antara Batas Cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50.

a. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasi sebagai lanau pasir, lanau lempungan atau lanau anorganik dengan plastisitas relatif rendah. juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubuk

batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung kaolin dan illite.

- b. Kelompok CH dan CL terutama adalah Lempung anorganis . Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk, lempung gumbo, bentonite dan lempung gunung api tertentu. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung pasiran atau lempung lanauan.
- c. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat - sifatnya dengan adanya bahan Organik. Lempung dan lanau Organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai Plastisitas berkisar pada kelompok ML dan MH.

3. Tanah Organik Tinggi.

Tanah ini tidak dibagi lagi tetapi diklasifikasikan dalam satu kelompok Pt.

Biasanya mereka sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat bahan bangunan yang diinginkan.

Tanah khusus dari kelompok ini adalah "Peat", Humus, tanah Lumpur dengan tekstur organik yang tinggi.

Komponen umum dari tanah ini adalah partikel - partikel daun, rumput, dahan atau bahan - bahan yang regas lainnya. Kadang - kadang titik potong antara kadar air dan Index Plastisitas (IP) tepat jatuh pada

garis A.

Dalam hal ini diperlukan dua lambang. Untuk Batas Cair (Liquid Limit) $LL = 50$ dan Index Plastisitas (IP) < 22 maka tanah adalah ML - MH atau OL - OH tergantung dari kadar Organik yang ada.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada *Tabel 2.4.1. Bagan Klasifikasi Tanah Unified dan Gambar 2.4.1 Bagan Alir Klasifikasi Unified.*

2.5. Mill (Dry Powder).

Mill merupakan serbuk halus batu marmer merupakan residu hasil pembuangan bekas potongan marmer yang banyak terdapat di Indonesia.

Dalam penggunaannya Mill merupakan bahan campuran Gips dan Gypsun , Gips merupakan bahan baku dalam pembuatan patung dan sebagai bahan penopang untuk pertolongan pada orang yang mengalami patah tulang, sedangkan Gypsun merupakan bahan penyekat ruang yang kedap suara serta ringan dan kuat ini banyak digunakan untuk gedung bertingkat.

Mill yang digunakan dalam pengujian didapat dari daerah Citatah Padalarang Bandung Jawa Barat, yang mempunyai ukuran butir 800 Mess.

Pengujian secara Kimiawi serta Mineral di lakukan

Termasuk identifikasi dan deskripsi

Prosedur identifikasi lapangan (Tidak termasuk partikel-partikel yang lebih besar dari 75 mm dan mendemarkan fraksi-fraksi atas perkiraan berat)				
<p>TANAH BERBUTIR KASAR Lebih dari setengah bahan lebih besar dari ukuran saringan No. 200</p>	<p>PASIR KERIKIL Lebih dari setengah fraksi kasar lebih besar dari ukuran saringan No. 4 (Untuk klasifikasi visual, ukuran 6 mm dapat digunakan sebagai ekuivalen terhadap ukuran saringan No. 4)</p>	<p>PASIR DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Kisaran (range) yang luas dalam ukuran butiran dan jumlah yang cukup berarti dari semua partikel ukuran antara</p>	
		<p>PASIR DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Satu ukuran saja yang banyak terdapat atau suatu kisaran ukuran di mana beberapa ukuran antara tidak terdapat.</p>	
		<p>KERIKIL DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Butiran halus tidak plastis (untuk prosedur identifikasi, lihat ML di bawah)</p>	
		<p>KERIKIL DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Butiran halus plastis (untuk prosedur identifikasi, lihat CL di bawah)</p>	
		<p>PASIR DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Kisaran yang luas dalam ukuran butiran dan jumlah yang cukup berarti dari semua partikel ukuran antara</p>	
		<p>PASIR DEBERSIH (Butiran halus tidak ada atau sedikit)</p>	<p>Satu ukuran saja yang banyak terdapat atau suatu kisaran ukuran di mana beberapa ukuran antara tidak terdapat.</p>	
<p>TANAH BERBUTIR HALUS Lebih dari setengah bahan lebih kecil dari ukuran saringan No. 200 (Ukuran saringan No. 200 adalah partikel terkecil yang masih dapat dilihat dengan mata telanjang)</p>	<p>Prosedur identifikasi untuk fraksi yang lebih kecil dari ukuran saringan No. 40</p>			
	<p>LANAU DAN LEMPUNG Batas cair lebih kecil dari 50</p>	<p>Kekuatan kering (Karakteristik hancur)</p>	<p>Pemuaihan (Reaksi terhadap guncangan)</p>	<p>Ketahanan (Konsistensi dekat batas plastis)</p>
		<p>Tidak ada sampai sedikit</p>	<p>Cepat sampai lambat</p>	<p>Tidak ada</p>
		<p>Sedang sampai tinggi</p>	<p>Tidak ada sampai sangat lambat</p>	<p>Sedang</p>
		<p>Sedikit sampai sedang</p>	<p>Lambat</p>	<p>Sedikit</p>
	<p>LANAU DAN LEMPUNG Batas cair lebih besar dari 50</p>	<p>Sedikit sampai sedang</p>	<p>Lambat sampai tidak ada</p>	<p>Sedikit sampai sedang</p>
		<p>Tinggi sampai sangat tinggi</p>	<p>Tidak ada</p>	<p>Tinggi</p>
		<p>Sedang sampai tinggi</p>	<p>Tidak ada sampai sangat lambat</p>	<p>Sedikit sampai sedang</p>
	<p>TANAH SANGAT ORGANIK</p>		<p>Langsung dapat diidentifikasi lewat warna, bau, seperti busa, dan tekstur serabut (berambung)</p>	

Tabel 2.4.1.

Bagan Klasifikasi Tanah Unified

Termasuk identifikasi dan deskripsi

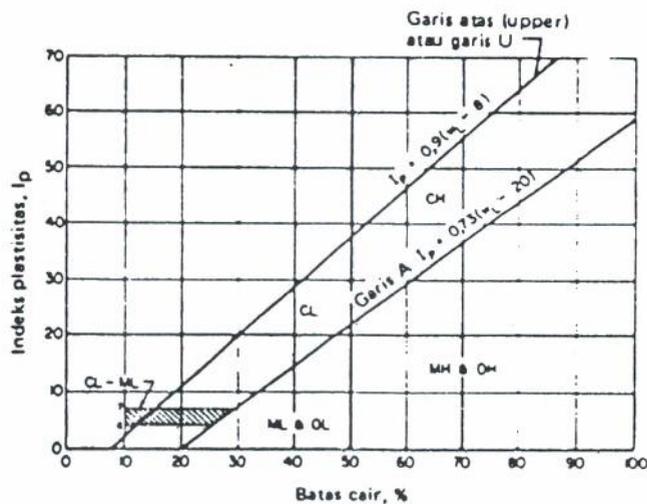
Simbol kelompok	N a m a	Keterangan yang dibutuhkan untuk menjelaskan tanah
GW	Kerikil bergradasi-baik, campuran kerikil-pasir sedikit atau tanpa butiran halus.	<p>Berikan nama; tentukan perkiraan persentase pasir dan kerikil, ukuran maksimum, bersudut atau bundar (angularity), kondisi permukaan, dan kekerasan butiran kasar; nama lokal atau geologi, dan keterangan-keterangan penting lainnya; dan simbol dalam kurung.</p> <p>Untuk tanah tidak terganggu tambahkan keterangan mengenai stratifikasi, derajat kepadatan, semestasi, kondisi kelembaban, dan karakteristik drainase.</p> <p>CONTOH: Pasir berlanau; mengandung kerikil, sekitar 20 persen keras, partikel kerikil bersudut dengan ukuran maksimum 12 mm; pasir bundar dan agak bersudut (subangular) dari kasar sampai halus; sekitar 15 persen butiran halus nonplastis dengan kekuatan kering yang rendah; cukup padat dan lembab di tempat; pasir aluvial; (SM)</p>
GP	Kerikil bergradasi-buruk; campuran kerikil-pasir; sedikit atau tanpa butiran halus.	
GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau bergradasi-buruk.	
GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung bergradasi-buruk.	
SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butiran halus.	
SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil; sedikit atau tanpa butiran halus.	
SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau bergradasi-buruk.	
SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung bergradasi-buruk	
ML	Lanau anorganik dan pasir sangat halus, tepung batuan, pasir halus berlanau atau berlempung dengan plastisitas rendah	<p>Berikan nama; tentukan derajat dan karakteristik plastisitas, jumlah dan ukuran maksimum butiran kasar; warna, dalam kondisi basah, bau apabila ada, nama lokal atau geologi, dan keterangan-keterangan penting lainnya; dan simbol dalam tanda kurung.</p> <p>Untuk tanah tidak terganggu tambahkan keterangan mengenai struktur stratifikasi, konsistensi dalam keadaan tidak terganggu dan sudah dibentuk, kondisi kelembaban dan drainase.</p> <p>CONTOH: Lanau berlempung, coklat; agak plastis; persentase pasir halus kecil; banyak lobang akar yang vertikal; teguh dan kering di tempat; luas; (ML)</p>
CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus	
OL	Lanau organik dan lanau-lempung organik dengan plastisitas rendah	
MH	Lanau anorganik, tanah berpasir atau berlanau halus mengandung mika atau diatoms, lanau elastis	
CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Pt	Gambut (peat), rawang (muck), gambut rawa (peat-bog), dan sebagainya	

Tabel 2.4.1.

Sambungan

Termasuk identifikasi dan deskripsi

Kriteria klasifikasi laboratorium		
<p>Pergunakan kurva ukuran butiran dalam mengidentifikasi fraksi-fraksi sebagaimana diberikan pada identifikasi lapangan</p> <p>Tentukan persentase kerikil dan pasir dari kurva ukuran butiran Tergantung pada persentase butiran halus (fraksi yang lebih kecil dari saringan ukuran No. 200), tanah berbutir kasar diklasifikasikan sebagai berikut:</p> <p>Kurang dari 5 persen GW, GP, SW, SP, Lebih dari 12 persen GM, GC, SM, SC, Kasus di batas antara memerlukan pemakaian simbol ganda</p>	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Di antara 1 & 3	
	Tidak memenuhi semua syarat gradasi untuk GW	
	Batas Atterberg di bawah garis "A", atau I_p kurang dari 4	Di atas garis "A" dengan I_p antara 4 dan 7 merupakan kasus <u>batas antara</u> yang membutuhkan simbol ganda.
	Batas Atterberg di atas garis "A", dengan I_p lebih besar dari 7	
	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Di antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi semua syarat gradasi untuk SW	
	Batas Atterberg di bawah garis "A", atau I_p kurang dari 4	Di atas garis "A" dengan I_p di antara 4 dan 7 merupakan kasus <u>batas antara</u> yang membutuhkan simbol ganda.
	Batas Atterberg di atas garis "A", dengan I_p lebih besar dari 7	



Bagan plastisitas atau bagan A untuk dipakai dalam sistem Klasifikasi Tanah Unified. Perpanjang seperlunya untuk $w_L > 100$.

Tabel 2.4.1.

Sambungan

di " Badan Penelitian Dan Pengembangan Industri Balai Besar Industri Keramik Bandung". Pengujian ini dilakukan agar dapat diketahui unsur - unsur kimiawi dan unsur - unsur mineral serta jumlah persentasenya.

Hasil dari pengujian kimiawi dan mineral dapat dilihat dibawah ini :

Analisa Kimia Secara Konvensional .

- Silikon Dioksida (SiO_2)	: 6.23 %
- Oksida Aluminium (Al_2O_3)	: 1.69 %
- Oksida Besi (Fe_2O_3)	: 1.00 %
- Calcium Oksida (CaO)	: 49.78 %
- Magnesium Oksida (MgO)	: 0.06 %
- Dinatrium Oksida (Na_2O)	: 0.24 %
- Kalium Oksida (K_2O)	: 0.04 %
- Hilang Pijar	: 40.65 %

Analisa Mineral Dengan Difraksi Sinar -X .

- Kalsit
- Illit

Analisa Rasio Kadar Mineral.

- Kalsit	: 88.89 %
- Illit	: 9.55 %
- Mineral Lain	: 1.56 %

2.6. Reaksi Kapur Terhadap Tanah.

Kapur akan bereaksi dengan mineral lempung dari tanah, atau pada tanah berbutir halus lainnya. Penambahan kapur pada tanah berbutir halus (lempung), akan menimbulkan beberapa reaksi, di mana reaksi antara kapur dan tanah dapat dianggap mempunyai 2 (dua) tahap, yaitu 10) 11).

1. Pertukaran Ion Langsung.

Ion kalsium diserap oleh lempung ini diikuti oleh flokulasi butir - butir lempung menjadi gumpalan - gumpalan butir - butir kasar yang gembur. Penggantian kation dan flokulasi - agglomerasi yang terjadi akan menyebabkan perubahan pada plastisitas tanah, workability, dan kekuatan (Strength), di mana pada umumnya batas plastis akan naik, batas cair akan turun dan akhirnya akan memperkecil indeks plastis, serta workability akan diperbaiki dan kekuatan akan semakin besar.

2. Pengerasan Kimiawi.

Proses pengerasan yang relatif lambat di mana terbentuk kalsium, silikat dan aluminat, akibat bercampurnya kapur, air dan beberapa sumber silika dan alumina

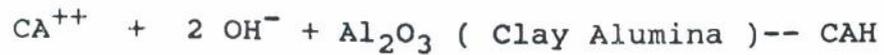
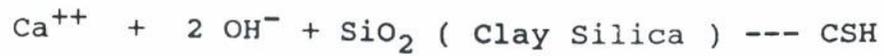
-
- 10). Ir. K.A. Zamhari, Analisa Penyelidikan Tanah Dasar Jalan TB 12, Direktorat Penyelidikan Masalah Tanah dan jalan Bandung.
- 11). Alan Rahlan BRE, Wahyu Poernama BE, Pengaruh Kapur Terhadap tanah Lempung, Puslitbang Jalan, Bandung 1980

dari tanah yang membentuk sementasi yang disebut reaksi pozzolanic tanah - kapur. Seberapa jauh proses dari reaksi pozzolanic tanah - kapur berlangsung dipengaruhi oleh sifat tanahnya. Proses pengerasan ini dapat dipercepat pada suhu yang tinggi dan ini merupakan satu sebab mengapa stabilisasi kapur cocok untuk daerah tropis. Secara keseluruhan proses proses pengerasan ini akan memberikan perubahan terhadap kekuatan tanah (Strength).

Dari ke dua tahap tersebut, di sini dapat dikatakan bahwa tahap pertama adalah menunjukkan modifikasi dari tanah, dan pada tahap ke dua adalah merupakan proses pengerasan dari tanah. Ke dua hal tersebut merupakan kejadian yang penting pada proses stabilisasi, di mana pada saat basah, plastisitas dari tanah dasar telah termodifikasi dan menghasilkan keadaan tanah yang lebih pantas untuk pencampuran dan pemadatan yang mana berguna bagi tahap pengerasan (Sementation)¹²⁾.

Mekanisme dari reaksi tanah dan kapur secara sederhana adalah dapat dilihat sebagai berikut¹³⁾.

-
- 12) Robert. Kerbs and Richard D. Walker , Highway Materials, Mc Graw Hill, New York, 1975.
- 13) Ir. Hermin Tjahjati, Stabilization Of A Heavy Clay Using lime - Pozzolan Trass admixture, Thesis 1986.



Dimana CSH dan CAH yang dihasilkan tergantung daari :

1. Banyaknya kapur.
2. Karakteristik tanah.
3. Waktu Curing.
4. Temperatur.

CSH dan CAH adalah :

C = CaO

S = SiO₂

A = Al₂O₃

H = H₂O

2.7. Teori-Teori Laboratorium

Dalam melaksanakan Stabilisasi tanah ini maka material yang akan digunakan harus diketahui baik jenis maupun sifat-sifatnya, maka sebelumnya diadakan pemeriksaan secara fisik dilaboratorium sesuai dengan standard ASTM serta didukung dengan teori-teori laboratorium.



•
•

•
•

•
•

2.7.1. Berat Jenis (Spesifik Gravity).

Berat jenis tanah merupakan suatu perbandingan antara berat isi butir tanah di udara dengan berat isi di udara.

$$G_s = \frac{\text{Berat isi satuan material}}{\text{Berat isi satuan air pada } 4^{\circ} \text{ C}} \dots(2.7.1)$$

Tertulis dalam suatu bilangan yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 2.65 dengan variasi yang agak kecil, yaitu jarang dibawah 2.4 atau diatas 2.8 ¹⁴⁾ Nilai ini dipergunakan untuk memberikan suatu patokan dalam menentukan suatu nilai berat jenis dalam setiap percobaan serta mendukung percobaan-percobaan lainnya seperti hydrometer dan percobaan pemadatan.

2.7.2. Analisa Ukuran Butir.

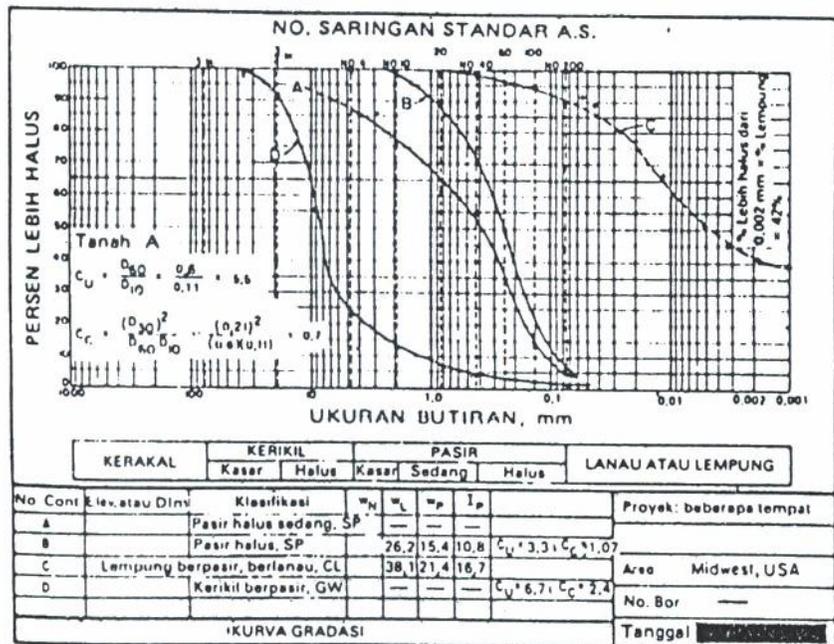
Pengujian distribusi ukuran butir dari material dapat dijadikan sebagai petunjuk dalam usaha untuk mengklasifikasikan jenis tanah.

Disamping itu sifat serta macam tanah tergantung kepada ukuran butirnya. Untuk menentukan material yang mempunyai butiran halus dilakukan

14). Dr. Ir. LD Wesley , Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umim, 1977

pengujian batas-batas Atterberg.

Besarnya ukuran butiran hasil dari suatu percobaan biasanya digambarkan dalam suatu grafik, yaitu grafik lengkung gradasi (grading curve) atau grafik lengkung pembagian butir (particle size distribution curve), juga dapat dilihat besarnya diameter butir yang merupakan batas antara kerikil, pasir, lanau dan lempung. seperti terlihat pada Gambar 2.7.1.



Gambar 2.7.1. Grafik Pembagian Ukuran Butir.

Penentuan ukuran butiran tanah dilakukan dalam dua cara yaitu :

a. Cara Analisa Saringan.

Dilakukan untuk butiran yang kasar, yaitu tanah dikeringkan dan disaring pada serangkaian saringan dengan ukuran lubang tertentu, mulai dari yang berukuran kasar sampai yang halus.

b. Cara Pengendapan (Analisa Hydrometer).

Dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir dari tanah yang lewat saringan No. 200.

2.7.3. Batas-Batas Atterberg

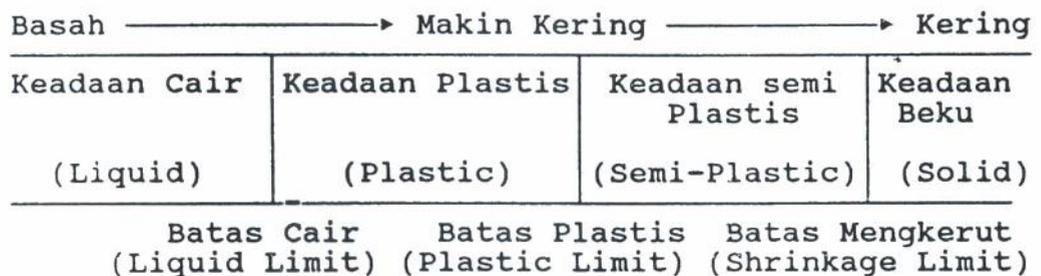
Percobaan batas-batas Atterberg bertujuan untuk mengetahui nilai dari suatu batas cair (LL), batas plastis (PL), serta batas mengkerut / Plastis Indek (PI) yang dilakukan pada bagian tanah yang lolos saringan No. 40.

Metode ini menggambarkan suatu proses dimana tanah apabila dibiarkan mengering perlahan-lahan sampai tidak terjadi lagi perubahan pada volumenya, maka tanah tersebut akan melampaui proses-proses tertentu.

Jika tanah dikeringkan, maka jika kadar airnya berkurang dari batas plastis, tanah tersebut dalam keadaan kaku.

Jika kadar airnya dinaikan sehingga berada diantara batas plastis dan batas cair, maka tanah itu berada dalam keadaan plastis.

Jika kadar airnya dinaikan lagi, sehingga melebihi batas cair, maka tanah berada dalam keadaan cair. Keadaan tersebut dapat digambarkan dalam Gambar 2.7.2.



Gambar 2.7.2. Batas - Batas Atterberg

dengan :

1. Batas Cair (Liquid Limit).

Adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (Yaitu batas atas dari daerah plastis).

2. Batas Plastis.

Adalah keadaan di mana kadar air tanah telah melampaui keadaan plastis menuju ke semi plastis, dimana tanah tersebut menjadi lebih kering dari keadaan plastis.

3. Batas Susut.

Adalah keadaan di mana kadar air tanah pada batas antara keadaan semi plastis dengan keadaan beku.

Sifat-sifat plastisitas dari tanah biasanya dinyatakan sebagai Indeks Plastis (PI), yang merupakan selisih antara Batas Cair (LL), dengan Batas Plastis (PL). Keadaan ini yang dinamakan daerah dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis secara notasi hal tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (2.7.2)$$

Bila nilai Indeks Plastis tinggi, ini menunjukkan bahwa tanah berada dalam keadaan sangat plastis, dan sangat berpengaruh terhadap perubahan kadar air. Hal ini menunjukkan bahwa tanah dalam keadaan seperti itu tidak baik bagi konstruksi jalan. Dan bila tanah tersebut akan digunakan, maka tanah seperti ini harus diperbaiki.

Pengaruh dari penambahan Mill ialah untuk mengurangi Batas Cair dari tanah, menaikkan Batas

Plastis dan akhirnya akan mengurangi Indeks Plastis dari tanah tersebut.

2.7.4. Pemadatan (Compaction).

Pemadatan tanah adalah proses menaikkan kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antara partikel sehingga reduksi volume udara : tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah itu.

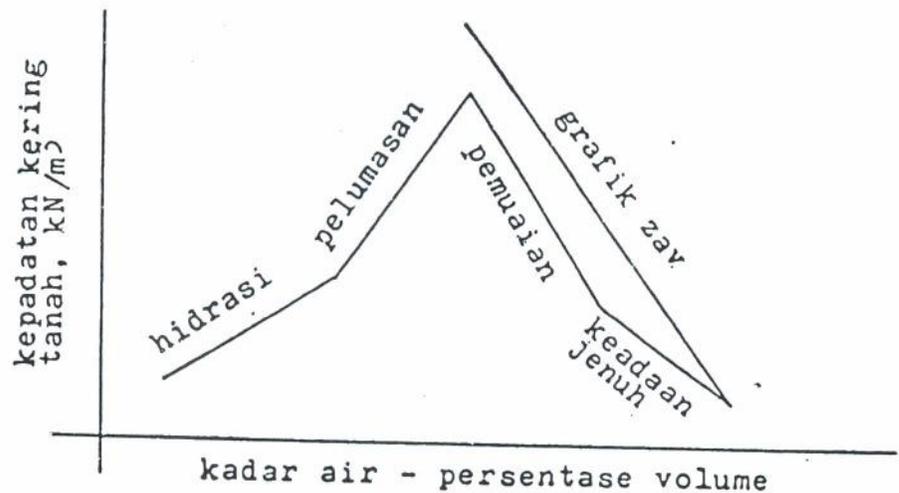
Menurut PROCTOR (1933) , air yang terdapat dalam tanah yang relatif kering timbul adanya efek kapiler. Air ini akan menahan butir-butir tanah yang mengakibatkan adanya gesekan antara butir-butir itu, sehingga gesekan inilah yang melawan gaya-gaya yang diberikan pada saat Pemadatan. Jadi Pemadatan pada kadar air yang rendah akan mengakibatkan pemadatan sulit dilakukan, akibat sedikitnya air yang ada dalam tanah karena efek kapiler.

Penjelasan teori PROTOR ini timbul karena apabila air ditambahkan dan dilakukan usaha pemadatan yang sama, maka kepadatan kering akan meningkat, Hal ini terjadi karena air akan memudahkan butir-butir bergesekan (meminyaki) dan butir-butir tanah semakin padat. Dan bila air ditambahkan terus kepadatan kering terisi cukup

air dan penambahan air seterusnya untuk pemadatan tidak akan menaikkan kepadatan kering. Pada saat air mengisi seluruh pori-pori masih ada sedikit pori-pori yang tetap terisi udara dan air tak dapat mengisi ruang-ruang udara ini. Keadaan inilah yang dicapai ketika kepadatan kering (ρ_d) maksimum dan kadar air optimum (W_{opt}).

Selanjutnya penambahan air lagi akan mengakibatkan penambahan pori-pori yang terisi air dan sedikit udara, sehingga kepadatan kering akan menjadi lebih rendah dan plastisitas meningkat (tanah menjadi lunak). Jika air ditambahkan terus tanah akan menjadi lunak dan tak dapat menahan gaya-gaya pemadatan.

HOGENTOGLER (1936) mengatakan bahwa bentuk grafik pemadatan mencerminkan 4 tahap penambahan air, yaitu : hidrasi (hydration). Pelumasan (lubrication), Pemuaiian (swelling), dan keadaan jenuh (saturation). HOGENTOGLER menerangkan teorinya ini dengan *Gambar 2.7.3*. absisnya bukan kadar air persentase berat kering tapi persentase volume butir tambah volume air. Menurut HOGENTOGLER grafik ini mencerminkan tahap penambahan air dalam 4 tingkat. Hidrasi merupakan penyerapan air kedalam butir tanah dan pengikatan air sebagai lapisan tipis (water film) di sekitar



Gambar 2.7.3. Penjelasan HOGENTOGLER Tentang Grafik Pemadatan (WITERKORN 1975)

butir tanah. Air ini seakan-akan memiliki kekentalan yang tinggi dan bertindak seperti perekat. Pelumasan merupakan proses bertambah tebalnya lapisan tipis di sekitar butir tanah sehingga akan bertindak sebagai pelumas bagi butir-butir tanah yang akan mengakibatkan butir-butir tanah menjadi padat tanpa mengusir seluruh udara yang ada dalam tanah. Kadar air optimum pada tahap ini boleh disebut batas pelumasan. Keadaan ini dica-

pai ketika kepadatan kering mencapai nilai maksimum dan kadar air optimum. Tahap pelumasan ini mirip seperti yang dijelaskan oleh PROCTOR (proses meminyaki.

Penambahan air selanjutnya melewati batas pelumasan akan mengakibatkan pemuaiian massa tanah tanpa mengubah volume udara yang ada dalam tanah. Karena itu penambahan air hanya akan menggeser butir-butir tanah dan kadar air meningkat.

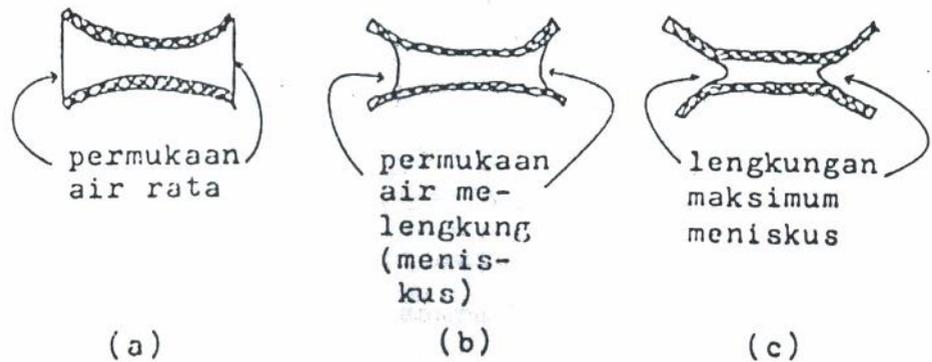
Pada keadaan jenuh seluruh udara diusir dan tanah menjadi benar-benar jenuh dan memotong grafik zav. Tetapi sekarang diketahui bahwa dalam proses pemadatan tidak akan mencapai kejenuhan 100 % dan grafik pemadatan pada sisi basah (sebelah kanan nilai kadar air optimum) cenderung sejajar dengan grafik zav.

HILF (1956) menjelaskan teori pemadatan dengan menggunakan teori tegangan air pori pada tanah tak-jenuh.

Pada tanah Kohesif yang dipadatkan diketahui ada 3 (Tiga) fase, yaitu: butir, air dan udara. Secara alamiah tanah yang sungguh-sungguh kering jarang dijumpai dan hampir tak mungkin mengeluarkan seluruh udara dari tanah pada saat pemadatan. Jadi sekeliling butir tanah akan tetap terdapat pori-pori yang terisi air, uap air dan

udara.

Tanah yang mengandung air menurut fenomena tegangan permukaan akan menyebabkan tegangan negatif (lebih kecil dari pada tegangan atmosfer) dalam air yang terdapat disekeliling butir tanah (BRIGGS, 1997) (WINTERKORN, 1975) . Tegangan negatif air ini disebut dengan beberapa sebutan, yaitu: tarikan tanah, potensial kapiler, tegangan kapiler, tegangan hisap, kehilangan tegangan. Air tanah dianggap berupa lapisan tipis yang menyelubungi butir tanah dan melengkung (meniskus) pada bagian-bagian persinggungan butir lihat Gambar 2.7.4.



Gambar 2.7.4. Tegangan Kapiler Dalam Tanah

(WINTERKORN 1975)

Meniskus memiliki bentuk lengkung tersendiri sesuai dengan tegangan kapiler pada temperatur, kadar air dan keadaan padat tertentu. Sedangkan sisa pori-pori terisi oleh udara. Telah dibuktikan oleh HILF (1956), lengkung meniskus yang menimbulkan tegangan kapiler pada air-tanah tidak dipengaruhi oleh perubahan tekanan udara.

Bentuk grafik pemadatan seperti Gambar 2.7.4. dijelaskan HILF (1956) dengan konsep tegangan kapiler dan tegangan air pori. Tanah kering memiliki gaya gesekan yang cukup besar yang disebabkan oleh lengkungan meniskus yang dalam sehingga dapat melawan usaha pemadatan. Tetapi udara dalam pori dapat diusir dengan segera karena besarnya ruang-ruang udara. Ketika tanah dipadatkan dengan menaikkan kadar airnya, meniskus akan menjadi rapat permukaannya Gambar 2.7.4.a. dan tak dapat menahan usaha pemadatan seperti halnya tanah kering, karena itu kepadatan tanah akan naik sampai mencapai nilai maksimum. Sedangkan penurunan kepadatan setelah nilai maksimum terjadi karena adanya sedikit udara yang terjebak dalam tanah dan juga akibat peningkatan tegangan air pori yang mengakibatkan pengurangan efektifitas pemadatan.

Berdasarkan penelitian lainnya diketahui bahwa pada derajat kejenuhan yang rendah pori-pori udara dalam tanah saling berhubungan. GILBERT (1959) dan LANGFENDER, CHEN dan JUSTICE (1968) , WINTERKORN (1975) melaporkan hasil penelitiannya bahwa pada nilai sekitar kadar air optimum pori-pori udara tanah yang dipadatkan tidak lagi saling berhubungan dan permeabilitas udara bernilai nol. Hal ini cenderung mendukung teori HILF (1956).

OLSON (1963) mengemukakan teorinya dengan menggunakan konsep tegangan efektif. Pemadatan pada kadar air rendah, penambahan air akan menaikkan derajat kejenuhan yang akan mengakibatkan tegangan udara pori dan tegangan air pori yang lebih tinggi. Hal ini karena tegangan efektif berkurang antar butir-butir. Butir-butir tanah akan saling bergeseran sehingga tegangan-tegangan lateral dan geser horizontal antara lapisan yang telah dipadatkan sebelumnya menimbulkan tegangan efektif yang cukup. Bila tanah dipadatkan terus, maka tegangan efektif akan bertambah karena tiga faktor : Bertambahnya tegangan-tegangan lateral total sisa, Bertambahnya tegangan-tegangan air-pori sisa, dan tegangan geser yang mengakibatkan bertambahnya tegangan air pori menjadi semakin

kecil. Panambahan tumbukan terhadap tanah selanjutnya akan menambah sedikit kepadatan kering tanah, karena tegangan geser lokal hanya akan mengakibatkan pemadatan setempat. Hal yang diuraikan di atas akan terjadi pula bila sekiranya kadar air yang bertambah, kecuali berkurangnya permeabilitas udara akan mengakibatkan peningkatan tegangan pori udara. Sampai akhirnya air yang ditambahkan sudah cukup sehingga kanal-kanal udara dalam tanah terputus, dan udara terperangkap di dalam tanah. Ketika pori-pori udara benar-benar telah tertutup jalan ke luarnya maka permeabilitas udara menjadi nol dan pemadatan lebih lanjut tak mungkin dilakukan lagi. Inilah yang disebut keadaan kadar air optimum.

Prinsip-prinsip pemadatan pada mulanya dikembangkan oleh PROCTOR pada tahun 1930. Ia menyatakan bahwa pemadatan tergantung dari 4 variabel yaitu : kepadatan kering (γ_d), kadar air (w), usaha pemadatan dan jenis tanah (gradasi, kandungan mineral lempung, dan sebagainya). Usaha pemadatan (Compactive Effort) adalah sejumlah Enersi mekanis yang diberikan terhadap tanah. Di lapangan usaha mekanis ini berupa penggilingan oleh mesin giling dengan berat dan tife tertentu. Sedangkan di laboratorium dilakukan melalui

pengujian pemadatan.

Tujuan dari pemadatan di laboratorium adalah untuk mendapatkan nilai kadar air Optimum, dan nilai kepadatan kering maksimum. Nilai-nilai tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk percobaan lainnya ataupun sebagai patokan pada pelaksanaan di lapangan.

Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan satuan kerapatan kering (dry density), yaitu massa partikel padat per satuan volume tanah. Bila kerapatan butiran tanah adalah (τ) dan kadar air (w), maka dengan meninjau persamaan didapat kerapatan kering :¹⁵⁾.

$$\tau_d = \frac{\tau}{1 + w} \dots\dots\dots(2.7.3)$$

$$\tau = \frac{M_s}{V} \dots\dots\dots(2.7.4)$$

Dimana :

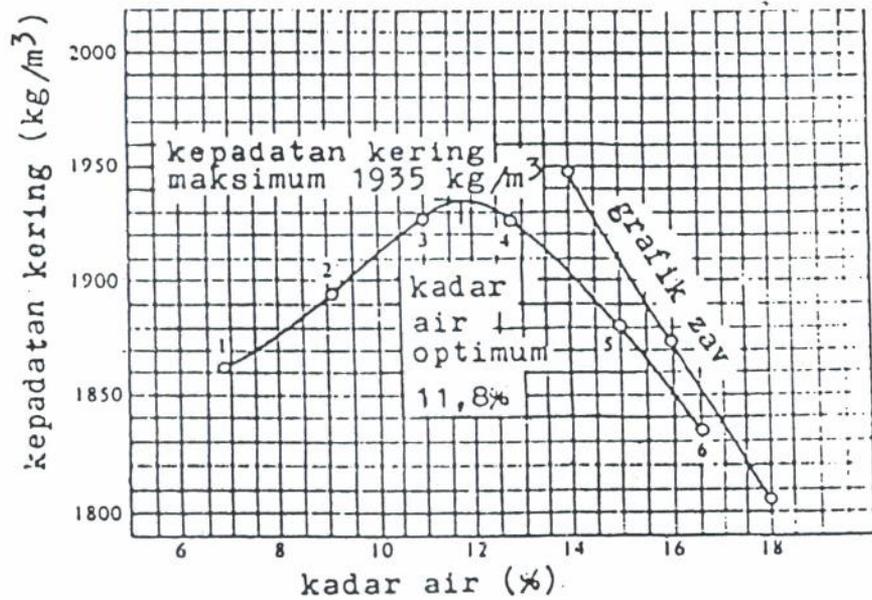
τ_d = Kepadatan Kering

τ = Kepadatan Tanah

¹⁵⁾Atkins, H.N. Higway Materials, Soils and Concretes
(Reston, Virginia: A Prentice-Hall Company, 1980).

- M_s = Massa tanah yang dipadatkan.
 V = Volume silinder.
 w = Kadar Air.

Dari beberapa pengujian yang dilakukan dapat dibuat grafik hubungan kadar air dan kepadatan kering seperti Gambar 2.7.5.



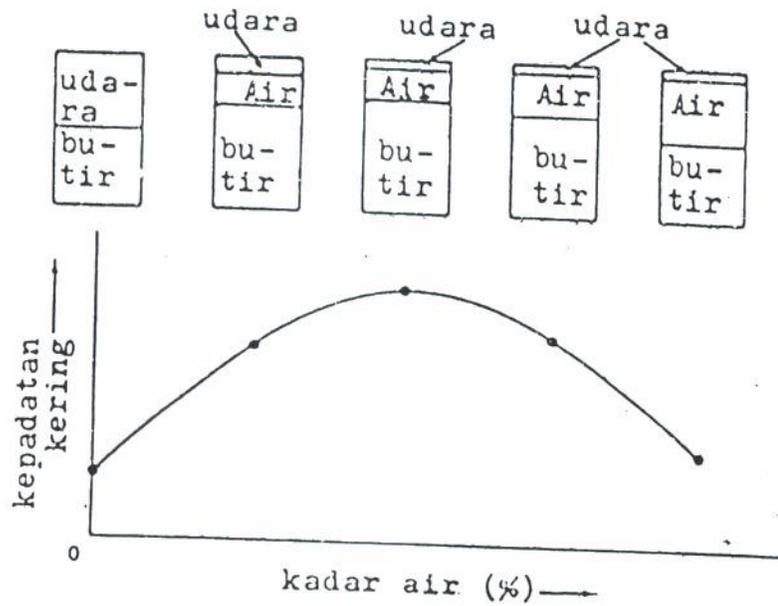
Pengujian no.	1	2	3	4	5	6
Kepadatan kering (kg/m^3)	1862	1894	1927	1929	1841	1836
Kadar air (%)	6.8	9.1	11.0	12.8	15.0	16.6

Gambar 2.7.5. Grafik Hasil Pengujian Pematatan Standar (ATKINS 1980)

Pada usaha tertentu kepadatan kering, akan mencapai nilai tertentu yang akan bervariasi dengan kadar air. Apabila tanah dipadatkan dalam keadaan kering maka akan dicapai kepadatan kering tertentu. Jika air ditambahkan (kadar air dinaikkan) dan usaha pemadatan tetap maka kepadatan kering akan naik, karena air akan mengakibatkan butir-butir tanah bergeser lebih mudah sehingga struktur tanah menjadi lebih padat.

Udara akan dipaksa ke luar sehingga akan diisi oleh butir tanah dan air yang ditambahkan tadi. Bila kadar air ditambah terus maka kepadatan kering yang lebih tinggi akan dicapai akibat lebih banyaknya udara yang keluar. Apabila sebagian besar udara sudah ke luar, penambahan air selanjutnya akan menyebabkan kepadatan kering menurun, karena air akan mendesak butir tanah dan mengambil tempatnya. Berarti ada nilai optimum kepadatan kering pada kadar air tertentu. Prinsip ini di lukiskan seperti *Gambar 2.7.6*.

Pengujian pemadatan dimaksudkan untuk mencari kepadatan maksimum yang dapat dicapai pada usaha pemadatan tertentu dan kadar air optimum yang dicapai pada saat kepadatan kering maksimum itu dicapai.

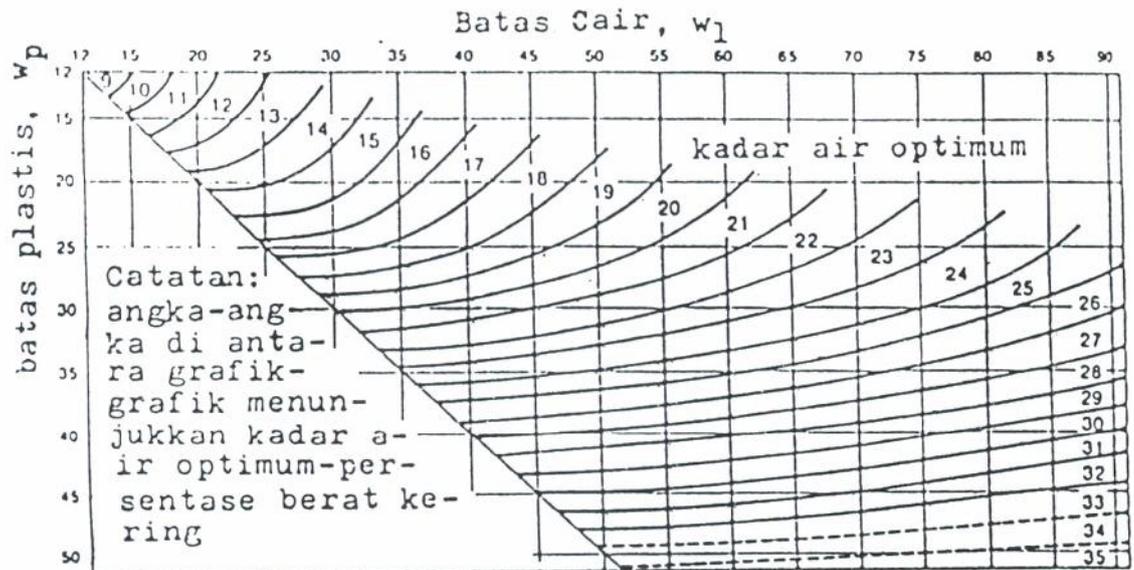


Gambar 2.7.6. Variasi Kepadatan Kering Dengan Kadar Air (ATKINS, 1980)

Pengujian pemadatan standar (Standar Compaction Test) menggunakan alat cetakan silinder dengan diameter 10 cm (4 in) dan volumenya 943.9 cm³ (1/30 ft³), palu seberat 2.5 kg (5.5 lb) yang dapat dijatuhkan dari ketinggian 30 Cm (1 ft), lihat Di samping itu diperlukan pula neraca dan oven.

Tanah yang akan diuji dalam pemadatan ini mula-mula dihancurkan sehingga diameternya lebih

kecil dari pada saringan Nomor 4 (4,76 mm). Tambahkan air pada contoh tanah sehingga memiliki kadar air sekitar kadar air optimum ($\pm 5\%$ dari kadar air optimum). Untuk memperkirakan kadar air optimum ini dapat dibantu dengan grafik Gambar 2.7.7. grafik ini menunjukkan hubungan kadar air optimum dengan batas cair (W_1) dan batas plastis (W_p) .



Gambar 2.7.7. Grafik Untuk Mencari Kadar Air Optimum Kira - Kira Pada Pengujian Pemadatan Standar (Bowles, 1970)

Sebagai contoh, jika batas cair (W_L) = 35 dan batas plastis (W_p) = 20 maka kadar air optimum kira-kira = 16 %.

Timbang cetakan silinder dan cari massanya, setelah bagian leher cetakan dilepas. Kemudian padatkan tanah dalam cetakan silinder dengan menggunakan palu. Untuk memadatkan ini tanah diisi dalam tiga bagian dalam cetakan dengan masing - masing bagian dipukul sebanyak 25 kali. Setelah itu bagian leher silinder di lepas dan tanah harus berada sedikit di atas tepi silinder. Potonglah kelebihan tanah ini sehingga rata dengan bagian atas silinder. Timbang silinder yang berisi tanah dan dapat diperoleh massanya. Tanah dikeluarkan dari silinder dan ambil sedikit pada bagian atas dan bawah dari tanah yang berbentuk silinder itu untuk diperiksa kadar airnya.

Proses ini diulangi sedikitnya lima kali untuk tanah yang sama dan kadar air contoh tanah tersebut dinaikkan pada setiap proses. Dari beberapa pengujian yang dilakukan dapat dibuat grafik hubungan kadar air dan kepadatan kering.

Kurva tersebut menunjukkan bahwa suatu metoda pemadatan tertentu (yaitu dengan usaha

pemadatan tertentu) akan diperoleh suatu nilai kadar air tertentu, yang dikenal sebagai kadar air optimum (Wopt) yang akan menghasilkan nilai kepadatan kering maksimum. Pada nilai kadar air yang rendah, sebagian besar tanah cenderung menjadi kaku dan sukar untuk dipadatkan. Dengan menambah kadar air, tanah menjadi lebih mudah dibentuk dan dipadatkan sehingga akan dihasilkan kerapatan kering yang lebih tinggi. Sebaliknya kerapatan kering semakin berkurang sejalan dengan mengisi rongga-rongga udara sehingga volume tanah bertambah.

Jika semua udara di dalam tanah dapat dikeluarkan dengan pemadatan maka tanah tersebut akan berada dalam kondisi jenuh sempurna, yang memungkinkan akan dihasilkan nilai kerapatan kering maksimum untuk suatu kadar air yang ditetapkan. Akan tetapi, secara praktis tingkat pemadatan ini tidak dapat dicapai. Nilai kerapatan kering maksimum yang mungkin terjadi disebut sebagai kerapatan kering dengan ruang pori tanpa udara, atau kerapatan kering jenuh (r_d). Nilai kerapatan kering jenuh dapat dihitung dari :

$$r_d = \frac{G_s}{1 + w.G_s} \quad \gamma_w \quad \dots\dots(2.7.5)$$

Dimana : G_s = Berat jenis tanah
 γ_w = Berat isi air
 w = Kadar air

2.7.5. California Bearing Ratio (CBR).

Dalam menilai kekuatan tanah dasar untuk jalan raya diperlukan evaluasi kekuatan tanah dasar tersebut secara cepat agar dapat diketahui keadaan tanah dasar tersebut. Bila tanah tersebut lunak, berarti diperlukan perbaikan tanah. Untuk keperluan itu telah dikembangkan sebuah metode yang disebut angka perbandingan daya dukung California (California Bearing Ratio atau CBR). Metode ini mula-mula dikembangkan oleh "California State Highway Department" dan kemudian dikembangkan lebih luas oleh "U.S. Army Corps of Engineer".

Nilai CBR biasanya digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan jalan.

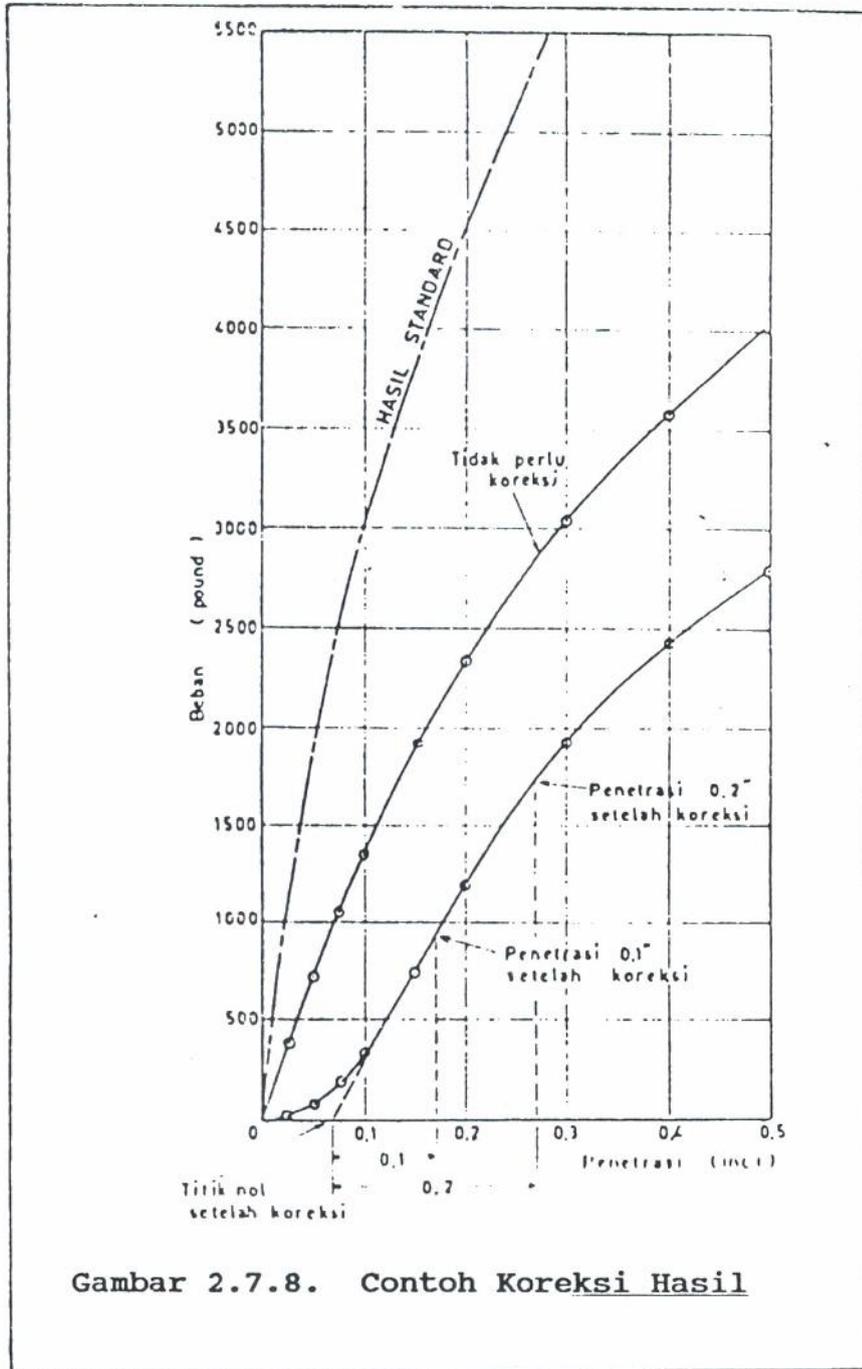
Nilai CBR adalah angka persentase beban yang diperlukan untuk menekan piston pada bahan standar sehingga masuk sampai kedalaman tertentu. Biasanya kedalaman yang dipakai 2,5 mm atau 5 mm (0,1 in atau 0,2 in). Bahan standar yang dipakai adalah batu pecah standar yang dianggap mempunyai

nilai CBR 100 %, yang diperoleh dengan mengerjakan beban pada piston sebesar 13,35 kN (3.000 lb) untuk penetrasi 2,5 mm atau 20,025 kN (4.500 lb) untuk penetrasi 5 mm (0,2 in). Bebab 13,35 kN dan 20,025 kN disebut beban standar. Untuk memperoleh nilai CBR suatu bahan (misal tanah), maka terhadap bahan tersebut dikerjakan beban melalui piston agar masuk sedalam 2,5 mm atau 5 mm. Kemudian beban yang diperoleh dibandingkan dengan nilai standar tadi dan dihitung persentasenya, inilah nilai CBR-nya. Atau secara ringkas dapat ditulis sebagai berikut : 16).

$$\text{CBR} = \frac{\text{Beban Uji}}{\text{Beban Standar}} \times 100 \% \dots (2.7.6)$$

Jika bagian permukaan grafik CBR cekung keatas, maka pada titik nol harus diadakan koreksi. Cara melakukan koreksi ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.8. yaitu titik nol digeser kekanan sehingga tidak terdapat lagi bagian yang cekung keatas.

¹⁶⁾ Bowles, J.E., *Engineering Properties of Soils and Their Measurement* (New York:McGraw-Hill Book Company, 1970)



Gambar 2.7.8. Contoh Koreksi Hasil

Untuk pengujian CBR diperlukan alat-alat sebagai berikut : tabung silinder berdiameter 15,2 cm (6 in) tinggi 17,5 cm (7 in), bagian atas silinder (collar), landasan pengatur jarak (spacer disk) berdiameter 15,2 cm (6 in) dan tebal 5 cm (2 in), arloji, beban tambahan, mesin kompresi (compression machine) dengan piston penetrasi (luas $19,35 \text{ cm}^2$ atau 3 in^2) yang dapat berpenetrasi dengan kecepatan 0,13 cm (0,05 in) per menit .

Pengujian CBR biasanya dilakukan terhadap tanah yang sudah dipadatkan pada kadar air optimumnya. Pengujian dilakukan terhadap dua macam tanah, yang satu untuk pengujian CBR langsung sedang yang lainnya untuk pengujian CBR setelah tanah direndam selama 4 hari (96 jam). Untuk tanah yang direndam ini diberi pula beban tambahan yang besarnya kira-kira hampir sama dengan beban yang akan dialami tanah di lapangan. Selama 96 jam itu dilakukan pembacaan pemuaiian. Pada akhir perendaman, tanah diuji nilai CBR.

Dengan perendaman dapat diketahui dua hal yaitu : kemungkinan pemuaiian tanah di lapangan bila jenuh dan kehilangan kekuatan akibat jenuh.

Untuk pengujian dipakai tanah berbutir halus yang melalui saringan nomor 4 (4,76 mm) dengan

berat kira-kira 5 kg, dengan kadar air sekitar nilai optimumnya. Sebelum melakukan pemadatan, kadar air tanah diukur dahulu dengan mengambil contoh tanah sebanyak kira-kira 100 gram. Kemudian tabung silinder ditimbang tanpa landasannya. Silinder diletakkan di atas landasan, sisipkan landasan pengatur jarak. Tanah kemudian dipadatkan seperti pada pemadatan standar atau modifikasi pemadatan.

Lepaskan bagian atas silinder (collar) dan lepaskan pula landasan serta landasan pengatur jarak. Timbang beratnya dan dicari kepadatan basahnya. Selanjutnya tanah dibalik (sehingga bagian kosong setinggi 5 cm atau 2 in berada di atas) dan letakkan tanah tadi pada landasan sehingga tanah menyentuh landasan yang telah di lapisi dengan kertas penyaring. Di atas contoh tanah itu diletakkan beban (lebih besar dari pada 44,5 N atau 10 lb) untuk meniru keadaan di lapangan. Kemudian contoh tanah itu diletakkan pada mesin kompresi dengan memeberikan kecepatan penetrasi 0,13 cm (0,05 in) per menit. Pembacaan beban penetrasi dilakukan setiap penetrasi 0,065 cm (0,025 in) sampai mencapai 0,5 cm, selanjutnya pembacaan dilakukan setiap 0,25 cm (0,1 in) sampai mencapai 1,3 cm (0,5 in). Kemudian tanah dikeluarkan dari

silinder dan ambil dua potong tanah untuk diukur kadar airnya.

Untuk contoh tanah yang direndam, setelah tanah dipadatkan maka contoh tanah tersebut diberi beban tambahan pula seperti di atas. Kemudian contoh tanah ini direndam sehingga air dapat mengalir melalui bagian atas dan bawah contoh tanah. Selama perendaman yang dilakukan dalam 96 jam dicatat pemuaiian yang terjadi, masing-masing pada jam ke 1, 2, 3, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 dan 96. Pembacaan pemuaiian boleh dihentikan pada jam ke 48 bila selama 24 jam terakhir tidak terjadi perubahan. Setelah selesai direndam contoh tanah ini dikeringkan dan kemudian ditimbang bersama-sama silindernya. Selanjutnya terhadap contoh tanah ini dikerjakan beban melalui mesin kompressi seperti contoh tanah yang tak direndam, untuk mendapatkan nilai CBR-nya. Kemudian diambil 6 potongan contoh tanah ini untuk diukur kadar airnya, masing-masing dua potong pada bagian atas, dua potong pada bagian tengah dan dua potong pada bagian bawah .

Nilai CBR umumnya dipakai untuk menilai kemampuan daya dukung tanah, terutama untuk tanah dasar atau perkerasan pada jalan raya dan lapangan terbang. Tabel 2.7.1. memperlihatkan penggu-

naan tanah berdasarkan nilai CBR .

Kadang-kadang diperlukan menguji nilai CBR tanah di lapangan untuk memeriksa nilai CBR yang didapat dari laboratorium. Untuk keperluan ini dapat dilakukan pengujian CBR di lapangan seperti yang dilakukan di laboratorium. Hanya perlu diingat bahwa pengujian lapangan dilakukan pada kadar air lapangan, sedangkan di laboratorium tanah direndam, perlu penyesuaian.

Nilai CBR	Penggo - longan	Digunakan untuk	Sistem Klasifikasi	
			Unifed	AASHTO
0 - 3	Sangat buruk	Tanah dasar	OH, CH, MH OL	A5, A6, A7
3 - 7	Buruk sampai sedang	Tanah dasar	OH, CH, MH OL	A4, A5 A6, A7
7 - 20	Sedang	Perkerasan bawah	OL, CL, ML SC, SM, SP	A2, A4 A6, A7
20 -50	Baik	Perkerasan atas dan bawah	GM, GC, SW SM, SP, GP	A1b, A2-5 A3, A2-6
50	Sangat baik	Perkerasan atas	GW, GM	A1a, A2-4

Tabel 2.7.1. Nilai CBR Dan Pemamfaatan Tanah.

Perendaman contoh tanah yang dilakukan di laboratorium sangat berpengaruh terhadap kekuatan tanah. Tanah direndam dimaksudkan untuk mengeta-

hui pengaruh tanah yang terburuk, yaitu keadaan jenuh.

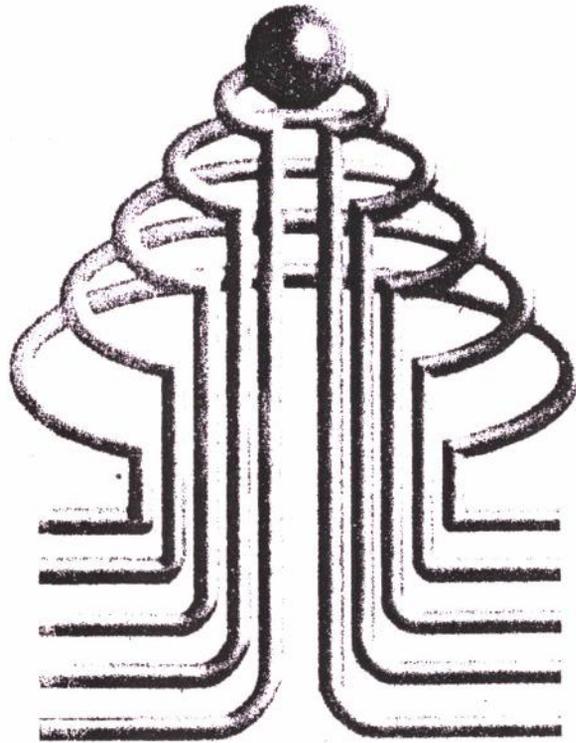
2.7.6. Kuat Tekan Bebas(Unconfined Compression Strength)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya kekuatan tanah bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan. Kuat tekan bebas dinyatakan dalam satuan Kg/Cm^2 .

Benda uji dibuat dengan mencetak pada mold pemadatan dengan kadar air optimum dan berat isi maksimum sesuai dengan hasil pemadatan standart. Setelah itu dicetak kedalam mould kuat tekan bebas dengan diameter minimal 3,3 cm dan tinggi 2 kali diameter untuk melakukan pengujian.

Percobaan kuat tekan bebas dimaksudkan terutama untuk tanah lempung atau lanau, bilamana lempung tersebut mempunyai derajat kejenuhan 100 % maka dapat ditentukan langsung nilai kekuatan geser U_n - Drained yaitu dengan membagi dua nilai q_u .

Percobaan kuat tekan bebas yaitu contoh tanah ditekan secara perlahan - lahan satu arah dengan kecepatan ± 1 % permenit, tapi tidak terjadi perubahan volume, sehingga luas contoh akan berubah.



ISTN

BAB. III

PROGRAM KERJA DAN PROSEDUR PENGUJIAN DI LABORATORIUM

Pengujian material yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah ini, dibagi menjadi 2 katagori pengujian :

1. Tanah Asli (Natural Soil)
2. Tanah Asli + Mill dengan berbagai persentase

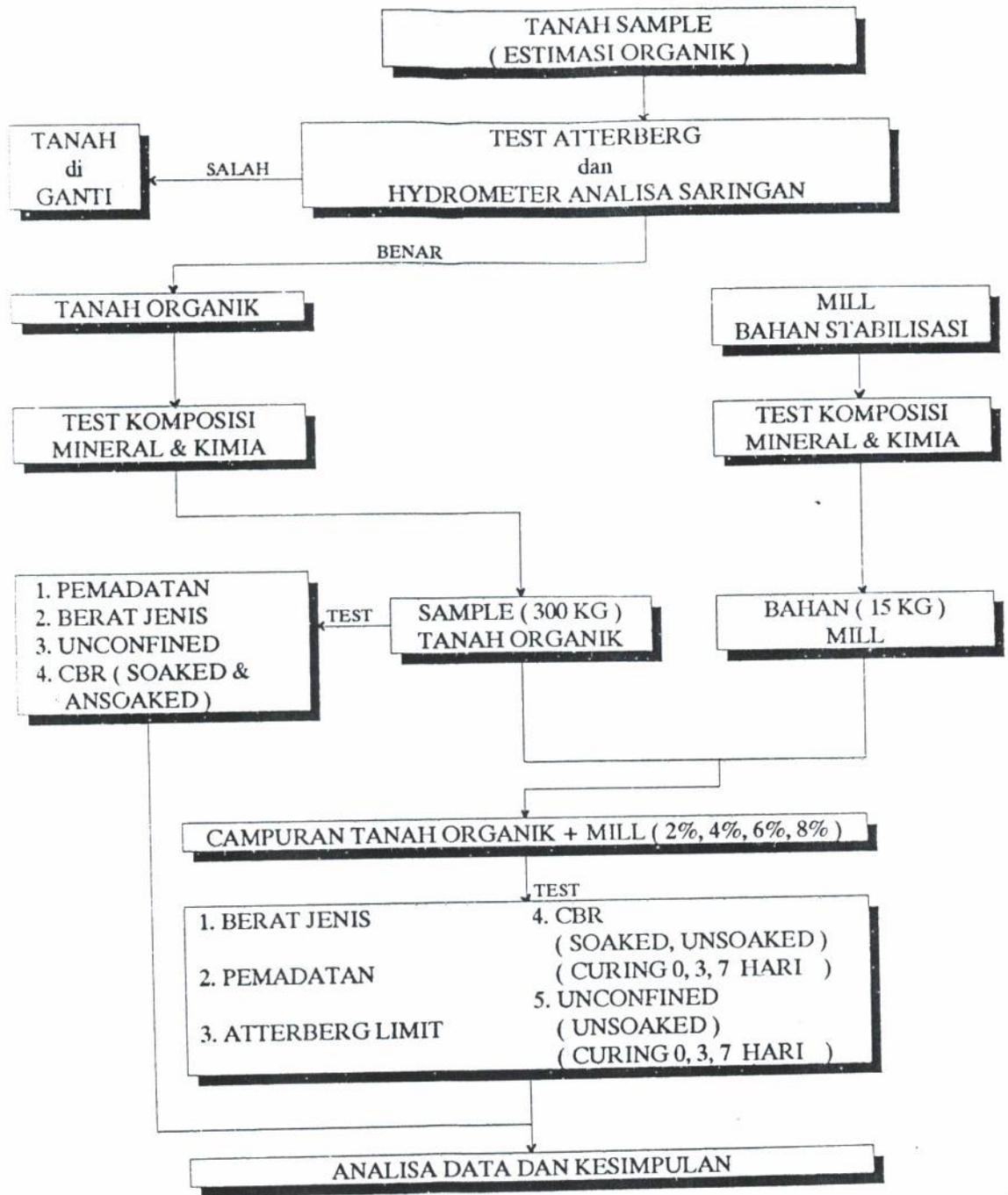
3.1. Diagram Alir Kerja (Flow Diagram)

Diagram alir menunjukkan berbagai tingkatan dari program kerja yang dilakukan dilaboratorium dapat dilihat pada *Gambar 3.1.1.*

Pekerjaan persiapan material (Bahan) meliputi persiapan tanah Asli dan Mill. Pemeriksaan yang dilakukan pada laboratorium Mekanika tanah yang antara lain :

1. Berat Jenis Tanah
2. Analisa Ukuran Butir
3. Batas - Batas Atterberg
4. Pemadatan
5. California Bearing Ratio (CBR)
6. Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength)

Pada tanah asli pemeriksaan percobaan CBR dan Kuat tekan bebas tidak dilakukan pemeraman (Curing), Sedangkan untuk tanah asli + Mill dilakukan pemeraman untuk mengetahui reaksi dari pengaruh waktu terhadap



Gambar 3.1.1. Diagram Alir Dari Percobaan.

kekuatan tanah yang dicampur.

Adapun lamanya masa pemeraman (Curing Time) adalah 3 dan 7 hari .¹⁷⁾

3.2. Persiapan Material

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari daerah Srengseng Sawah , Jakarta Selatan. Tanah yang diambil merupakan tanah permukaan yang terlebih dulu dicangkul lalu dijemur diatas loyang pada daerah terbuka, kemudian tanah ditumbuk dengan menggunakan palu karet, lalu disaring dengan menggunakan saringan No. 4.

Tanah yang lolos saringan No. 4. digunakan untuk keperluan pemeriksaan Pemadatan, CBR daan gradasi Butiran. Sedangkan untuk keperluan berat jenis dan batas - bataas atterberg, tanah harus lolos saringan No. 40.

3.3. Prosedur Pencampuran

Sebelum melakukan pencampuran Tanah asli dan Mill, Tanah asli harus dalam kondisi kering udara serta lolos saringan No. 4 sesuai dengan standart ASTM.

Prosedur pencampuran dilakukan dengan berbagai macam variasi dari jumlah Mill, dimana banyaknya Mill yang dicampurkan dihitung terhadap berat kering tanah dan dinyatakan dalam persentase antara lain adalah : 2%

17)

National Lime Association, Lime Stabilization Construction Manual, Washington, 1976

, 4% , 6% , 8% , yang masing - masing terhadap berat kering tanah, karena tanah kering mempunyai kadar air yang tetap

Perhitungan pencampuran tanah dan Mill adalah sebagai berikut :

$$W_t = 5000 \text{ gr}$$

$$W = 7,354 \%$$

$$W_{opt} = 36,280 \%$$

$$W_s = \frac{5000}{1 + 0,7354} = 4657,49 \text{ gr (asumsi } 93 \% \text{)}$$

Berat Mill untuk campuran 2 % adalah :

$$= \frac{0,02}{0,93} \times 4657,49 = 100,16 \text{ gr}$$

$$W_c = 4657,49 \text{ gr} + 100,16 \text{ gr} = 4757,65 \text{ gr}$$

$$W_w = 5000,00 \text{ gr} + 4657,49 \text{ gr} = 432,51 \text{ gr}$$

$$w_c = \frac{W_w}{W_c} \times 100 \%$$

$$w_c = \frac{432,51}{4435,17} \times 100 \% = 9,09 \%$$

Maka Penambahan Air :

$$\begin{aligned} W_{air} &= (W_{opt} - w_c) \times W_c \\ &= (36,28\% - 9,09\%) \times 4757,65 \text{ gr} = 1293,60 \text{ gr} \end{aligned}$$

Dimana :

$$W_t = \text{Berat Tanah Basah}$$

W	=	Kadar Air Tanah
W _{opt}	=	Kadar Air Optimum
W _s	=	Berat Tanah Kering
W _w	=	Berat Air
W _c	=	Berat tanah Kering Campuran
w _c	=	Berat Air Campuran
W _{air}	=	Penambahan berat Air.

Didalam melakukan pencampuran Tanah asli dan Mill dipergunakan Tangan dibantu dengan Sendok Adukan, dilakukan pengadukan dalam waktu yang cukup untuk mendapatkan suatu campuran yang merata.

3.4. Prosedur Pemeriksaan

Pada bagian ini diterangkan mengenai prosedur pemeriksaan yang dilakukan pada laboratorium yang meliputi metoda / cara pemeriksaan dan ukurannya.

3.4.1. Pemeriksaan Berat Jenis Tanah

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis tanah asli dan tanah campuran dalam masing - masing prosentase Mill yang dicampurkan.

Dalam Pengujian material (tanah) yang digunakan adalah yang mempunyai ukuran butir yang

lolos saringan No. 4 (4,76 mm). Untuk mengetahui berat Jenis (Gs) dipergunakan Piknometer dengan perhitungan sebagai berikut :

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.4.1.)$$

dimana :

Gs = Berat Jenis Tanah

W1 = Berat Piknometer (gram)

W2 = Berat Piknometer + Material (gram)

W3 = Berat Piknometer + Material + air (gram)

W4 = Berat Piknometer + Air (gram)

3.4.2. Pemeriksaan Ukuran Butir.

Dalam percobaan pemeriksaan ukuran butir hanya dilakukan pada Tanah Asli. Pemeriksaan ini merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah.

Untuk analisa saringan diperlukan material (Tanah) yang lolos saringan No. 4 (4,76 mm), untuk analisa hydrometer diperlukan material (Tanah) yang lolos saringan No. 200 (0,074 mm). adapun nomor saringan yang digunakan pada analisa saringan adalah sebagai berikut : No. 4 (4,76 mm), No. 8 (2,38 mm), No. 16 (1,19 mm), No. 30 (0,595 mm), No. 50 (0,297 mm), No.

100 (0,149 mm), No. 200 (0,074 mm). Material tersebut merupakan material yang kering oven.

3.4.3. Pemeriksaan Batas - Batas Atterberg

Pemeriksaan ini dilakukan pada tanah asli dan setiap persen campuran Tanah Asli + Mill yang diambil dari bahan yang akan dipersiapkan untuk percobaan CBR.

Pada batas cair / liquid limit (LL) digunakan alat batas cair Casagrande, alat ini diputar dengan kecepatan putaran 2 rotasi perdetik. Pemutaran dilakukan sampai dasar alur benda uji yang dibuat bersinggungan sepanjang kira - kira 1,25 cm. Batas cair / liquid limit (LL) adalah kadar air benda uji pada ketukan ke 25.

Batas plastis / plastis limit (PL) ditentukan dengan menggiling benda uji sampai terjadi retak pada saat benda uji tersebut telah mencapai ukuran diameter 3 mm (1/8 ").

Indek Plastisitas / Plasticity Index (PI) ditentukan dari selisih antara Batas Cair dan Batas Plastis.

$$PI = LL - PL \dots\dots(3.4.2.)$$

Dimana :

PI = Indek Plastisitas / Plasticity Index
LL = Batas Cair / Liquid Limit
PL = Batas Plastis / Plastis Limit

3.4.4. Pemeriksaan Pemadatan.

Didalam penelitian ini alat yang digunakan adalah Mould yang mempunyai ketinggian 151,62 mm dengan diameter dalam 152 mm, Alat Penumbuk dengan berat 2,5 Kg yang dijatuhkan dari ketinggian 30 cm dengan jumlah pukulan 56 kali untuk setiap lapisan, dimana didalam percobaan ini terdapat 3 lapisan dalam satu mould pemadatan.

Setiap komposisi dilakukan pengujian sebanyak 5 benda uji dengan kadar air yang berbeda. selanjutnya dibuat grafik hubungan antara kadar air dan berat isi kering sehingga didapatkan kadar air optimum (Wopt) dan berat isi kering maksimum (rd maksimum).

3.4.5. Pemeriksaan California Bearing Ratio (CBR)

Untuk melakukan pemeriksaan California Bearing Ratio (CBR) dipergunakan Mould yang mempunyai diameter dalam 152,1 mm dan tinggi mould 177,8 mm dengan berat penumbuk 2,5 kg (5,5 lb) dan dijatuhkan pada ketinggian 30 cm ditambah dengan piring pemisah (spacer disk) dengan

tebal 61,4 mm.

Benda uji dipersiapkan pada kerapatan kering maksimum dan kadar air optimum dari masing - masing campuran, dimana benda uji dibuat dalam 2 keadaan untuk setiap jenis atau prosentase campuran Mill (2%, 4%, 6% 8% Mill) terhadap tanah asli yaitu pengujian CBR kering / tanpa rendam (Unsoaked) dan pengujian CBR basah / rendam (Soaked) , masing - masing dengan masa pemeraman (Curing) 0 hari, 3 hari dan 7 hari, kemudian dipadatkan dalam 3 lapisan . Untuk masa CBR yang terendam dilakukan selama 4 hari (96 jam) selama perendaman benda uji diberi pemberat untuk pengujian CBR yaitu 4,5 kg (10 lb) dan diletakkan diatasnya alat pengukur pengembangan (swelling) . Nilai beban dihitung dengan mengalikan nilai pada pembacaan arloji dengan harga kalibrasi. Adapun harga dari kalibrasi adalah 2,82.

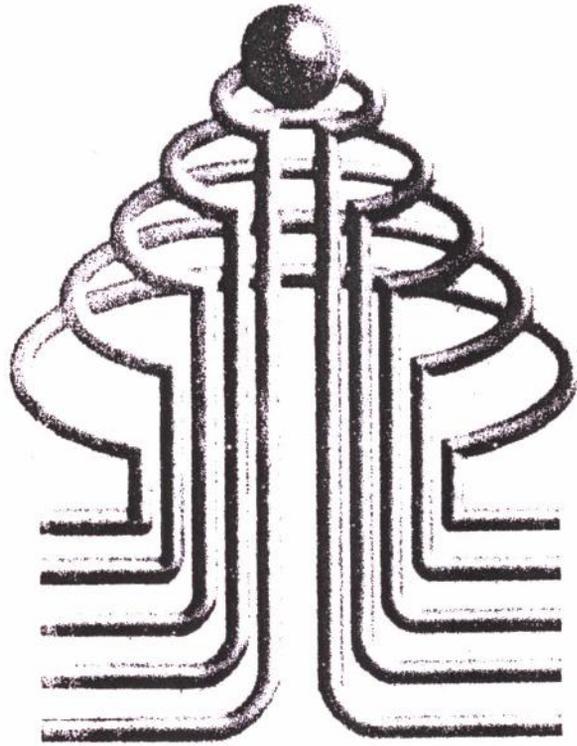
Nilai CBR dihitung pada harga penetrasi 0,1 inchi dan 0,2 inchi, umumnya diambil pada penetrasi 0,1 inchi. harga beban yang didapat pada penetrasi tersebut dibagi dengan beban standard.

3.4.6. Pemeriksaan Kuat Tekan Bebas

Pemeriksaan kuat tekan bebas (Unconfined Compressive Strength), mula - mula benda uji dice-

tak pada mould (cetakan) pepadatan kemudian dicetak kedalam mould kuat tekan bebas yang mempunyai diameter 35 mm dan tinggi 70 mm, kemudian dikeluarkan dengan alat pengeluar contoh setelah itu disimpan didalam kantong plastik yang diikat agar tidak terjadi penguapan. Untuk Tanah asli tidak dilakukan pemeraman, sedangkan untuk tanah campuran dilakukan pemeraman selama 0 hari, 3 hari dan 7 hari, banyaknya benda uji dicetak 3 buah untuk setiap contoh. Pada penelitian untuk pengetesan kuat tekan bebas adalah contoh yang diambil dari pengujian kering / tanpa rendam (Unsoaked).

Kuat tekan bebas untuk mengetahui pengaruh stabilisasi terhadap kekuatan campuran dan melihat naiknya kekuatan akibat penambahan waktu. Alat ini mempunyai harga kalibrasi 0,33.



ISTN

BAB. IV

PENYAJIAN DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari pengujian tanah asli dan tanah campuran, disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.1. Hasil Pengujian Tanah Asli.

Berat jenis (Gs) = 2.53

Analisa ukuran butir :

- Pasir (Sand), (0.074 - 4.670) mm : 9.740 %
- Lanau (Silt), (0.002 - 0.074) mm : 67.877 %
- Lempung (Clay), < 0.002 mm : 22.383 %

Batas - Batas Atterberg :

- Batas cair (LL) : 92.000 %
- Batas Plastis (PL) : 42.530 %
- Indeks Plastis (PI) : 49.470 %

Pemadatan :

- Kadar Air Optimum (Wopt) : 39.450 %
- Kepadatan Kering Max (τ_d max) : 1.22 gr/cm³

Kekuatan CBR :

- CBR Kering (Unsoaked) : 7.876 %
- CBR Rendam (Soaked) : 3.454 %

Kuat Tekan Bebas : 3.451 %

Analisa Kimia Secara Konvensional

- Silikon Dioksida (SiO₂) : 48.070 %

- Oksidasi Aluminium (Al_2O_3)	:	29.180 %
- Oksidasi Besi (Fe_2O_3)	:	1.130 %
- Calcium Oksida (CaO)	:	2.460 %
- Magnesium Oksida (MgO)	:	1.080 %
- Dinatrium Oksida (Na_2O)	:	0.240 %
- Dikalium Oksida (K_2O)	:	0.130 %
- Titan Dioksida (TiO_2)	:	0.280 %
- Hilang Pijar	:	16.600 %

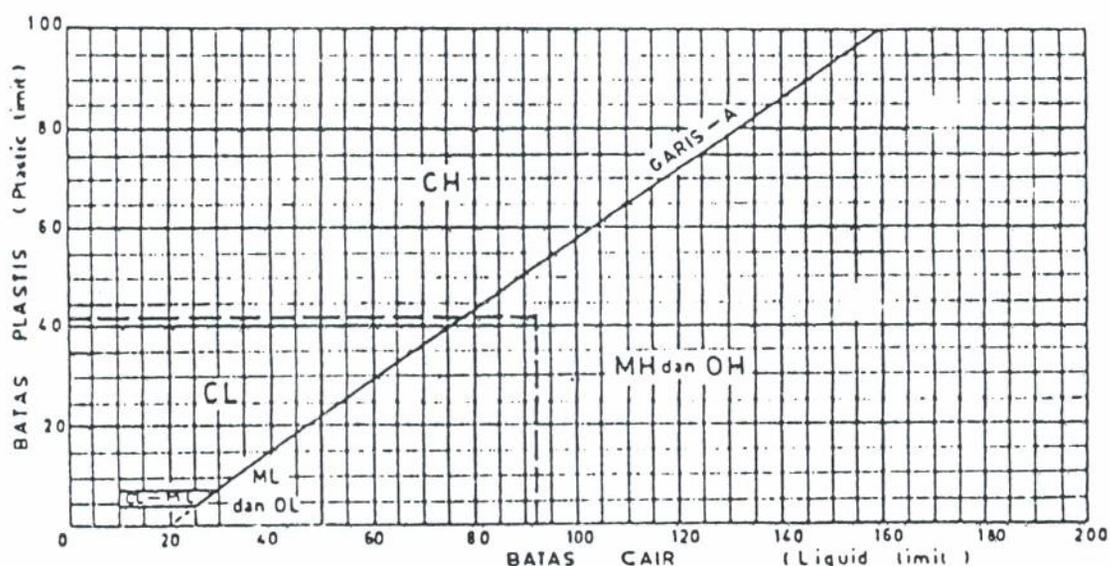
Analisa Mineral Dengan Difraksi Sinar - X :.

- Haloisit
- Alpa Kuarsa
- Kristobalit
- Maghemit
- Feldspar

Analisa Rasional Kadar Mineral	:	
- Haloisit	:	82.320 %
- Kristobalit dan Kuarsa	:	14.360 %
- Maghemit	:	1.120 %
- Feldspar	:	1.260 %

Dari Tabel 2.4.1. Bagan Klasifikasi Tanah Sistem Unified yang dikembangkan oleh Casagrande , bahwa Tanah Asli termasuk dalam golongan dengan simbol kelompok (OH) yaitu Lempung Organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, ini terlihat dari hasil pengujian Batas - Batas Atterberg dimana nilai Batas Cair (LL) > 50 %

ini terlihat dari Gambar 4.1.1. Grafik Plastisitas, hasil pengujian Analisa Ukuran Butir dimana tanahnya termasuk dalam kelompok tanah berbutir halus karena dari hasil pengujian lebih dari 50 % materialnya lebih halus dari saringan No. 200 dan hasil Analisa Kimia Secara Konvensional dimana hilang pijar pada tanah asli mencapai 16.6 % ini menunjukkan bahwa tanah asli mengandung komponen partikel - partikel daun, rumput dahan atau bahan - bahan yang regas lainnya atau termasuk dalam tekstur Organik.



Huruf Pertama :	Huruf Kedua :
M = Lanau (Silt)	L = Batas Cair Rendah (Low LL)
C = Lempung (Clay)	H = Batas cair Tinggi (High LL)
O = Organik	

Gambar 4.1.1. Grafik Plastisitas (Tanah Asli)

4.2. Pengaruh Mill Terhadap Plastisitas Tanah.

Pengujian pada suatu perubahan sifat tanah yang dikaitkan pada kebutuhan pada konstruksi jalan adalah dengan mengetahui perubahan sifat Plastisitas Tanah. Dari Tabel 4.2.1. dapat dilihat hasil dari pengujian Batas - Batas Atterberg dan Berat Jenis Tanah (Specific Gravity), sedangkan dari Gambar 4.2.1. diperoleh suatu gambaran dari suatu perubahan sifat plastis dari tanah akibat dari penambahan jumlah Mill.

Hasil data yang didapat dari pemeriksaan Batas - Batas Atterberg menunjukkan bahwa penambahan beberapa persen Mill mengakibatkan batas cair (LL) turun , batas plastis (PL) turun sedangkan nilai indeks plastisnya (PI) tetap menunjukkan penurunan.

Untuk penambahan 2 % Mill, didapat angka batas cair (LL) sebesar 80.5 % dan indeks plastis (PL) sebesar 38.851 % Dibandingkan dengan tanah asli (tanpa campuran) hasil ini menunjukkan penurunan sebesar 11.5 % untuk nilai batas cair (LL), dan 3.679 % untuk nilai batas plastis (PI) Untuk penambahan 4 % Mill didapat angka batas cair (LL) sebesar 71.1 % dan indeks plastis (Pl) sebesar 33.203 %. Terhadap campuran 2 % Mill hasil ini menunjukkan penurunan sebesar 20.9 % untuk nilai batas cair (LL), dan

16.267 % untuk nilai batas plastis (PI). Pada penambahan 6 % Mill dan Penambahan 8 % Mill, mengakibatkan batas cair (LL) naik, batas plastis turun, sehingga menyebabkan naiknya nilai Indeks plastis (PI) tanah tersebut. Untuk penambahan 6 % Mill didapat nilai batas cair (LL) sebesar 76.1 % dan batas plastis (PI) sebesar 36.80 % . Pada penambahan 4 % Mill menunjukkan kenaikan sebesar 5 % untuk nilai batas cair (LL), dan 6.097 % untuk nilai batas plastis (PI). Pada penambahan 8% Mill didapat nilai batas cair (LL) sebesar 94.15 % dan batas plastis (PI) sebesar 58.26 %. Pada penambahan 6 % Mill menunjukkan kenaikan sebesar 18.05 % dan 18.96 % untuk nilai batas plastis (PI). Hal ini terjadi, pertama karena kation kalsium dari Mill menggeser ion dari sodium dan hidrogen yang lemah dari permukaan butir - butir lempung pada tanah (Pertukaran ion). Kedua, karena adanya penambahan kation kalsium (muatan positif) yang memenuhi permukaan dari partikel lempung ¹⁸⁾ .

Dua proses tersebut diatas merubah secara fisik muatan listrik pda permukaan partikel lempung, dan merubah lapisan tipis air disekeliling mineral lempung. karena kekuatan daya tarik ikatan dari partikel lempung

18) Sujadji Kamarwan BRE, Lime Soil Stabilization
Untuk Konstruksi Jalan . Biro Teknik, Dep. PU,
Januari 1968.

itu tergantung dari muatan, besar dan hidrasi dari ionnya, maka kation kalsium yang lebih kuat itu menarik partikel lempung menjadi kelompok - kelompok butir - butir yang lebih besar (Flokulasi) 19) .Menurut Hergog dan Mitchell, flokulasi disebabkan oleh kenaikan kandungan Electrolyte dari air pori dan sebagai hasil dari perubahan ion oleh lempung kebentuk kalsium 20). Dengan adanya proses kimia ini yang menyebabkan plastisitas dari tanah menurun dan hasilnya menjadi lebih baik dan mudah dikerjakan. Sedangkan untuk campuran 6 % dan 8 % Mill terlihat bahwa plastisitasnya naik.

Penggunaan bahan campuran Mill sebagai bahan stabilisasi tanah dapat digunakan pada contoh tanah Organik ini untuk konsentrasi campuran 4 % Mill, karena pada campuran tersebut nilai batas cair (LL) dan indexs plastis (PI) masih menunjukkan penurunan. Dalam hal ini Makin kecil nilai batas cair (LL) dan nilai indexs plastis (PI) , maka makin baik mutu dari tanah tersebut sebagai bahan konstruksi jalan raya 21).

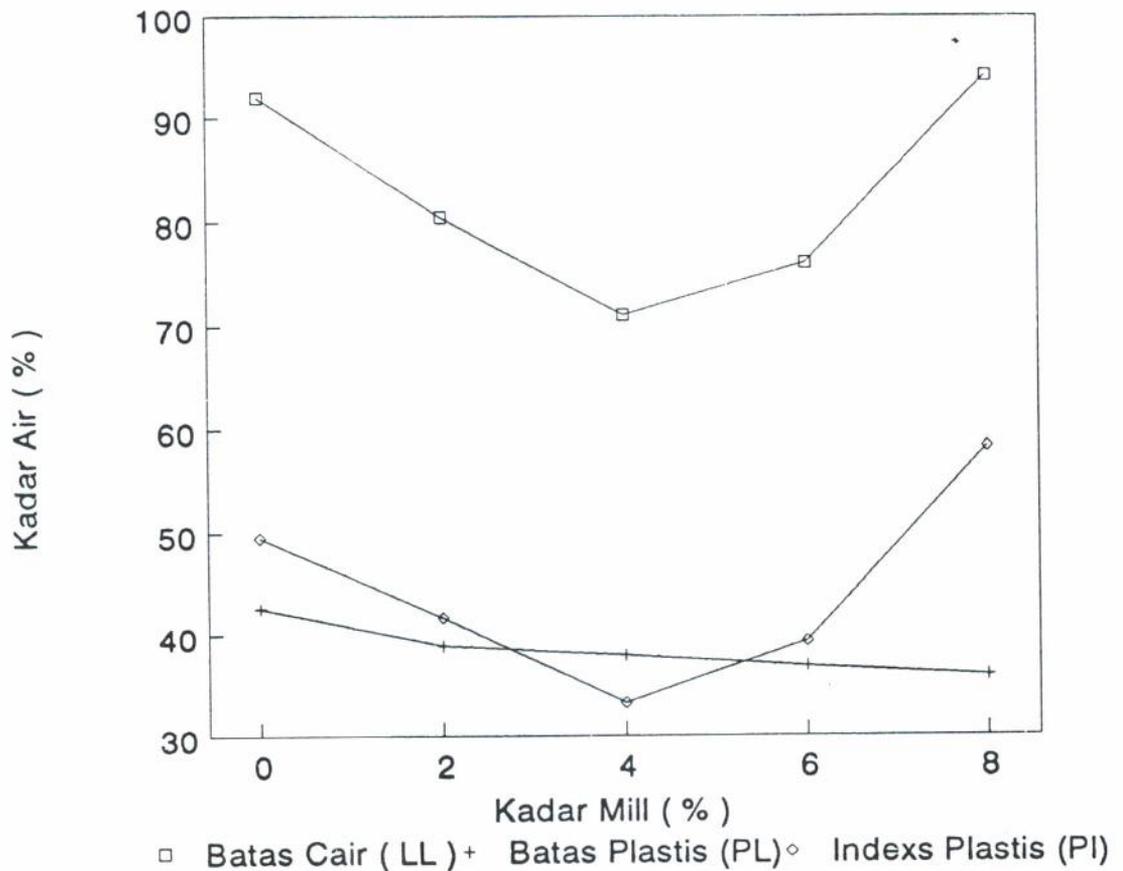
19) Yoder E.J and Witczak M.W, Principles of Pavement Design. Second Edition , Wiley , New York, 1970

20) Ir. K.A. Zamhari, Analisa Penyelidikan Tanah dasar Jalan TB12, Dep. P.U, Direktorat Penyelidikan Masalah Tanah dan Jalan, Bandung.

21) Ir. Soetrisno, Campuran Pasir Dan Lempung Untuk Perbaikan Mutu Tanah. Majalah Teknik Jalan - 020.

No.	Bahan	Bahan Stabilisasi Mill %	Batas Cair (LL) %	Batas Plastis (PL) %	Indexs Plastis (PI) %	Berat Jenis (Gs)
1.	Tanah Asli	0	92.000	42.530	49.470	2.530
2.	Tanah + 2 % Mill	2	80.500	38.851	41.649	2.545
3.	Tanah + 4 % Mill	4	71.100	37.896	33.203	2.563
4.	Tanah + 6 % Mill	6	76.100	36.800	39.300	2.575
5.	Tanah + 8 % Mill	8	94.150	35.890	58.260	2.589

Tabel 4.2.1. Hasil Pemeriksaan Batas – Batas Atterberg dan Berat Jenis Tanah .



Gambar 4.2.1. Pengaruh Bahan Stabilisasi Mill Terhadap Plastisitas Tanah.

4.3. Pengaruh Campuran Mill Terhadap Hubungan Antar Kepadatan Dan Kadar Air.

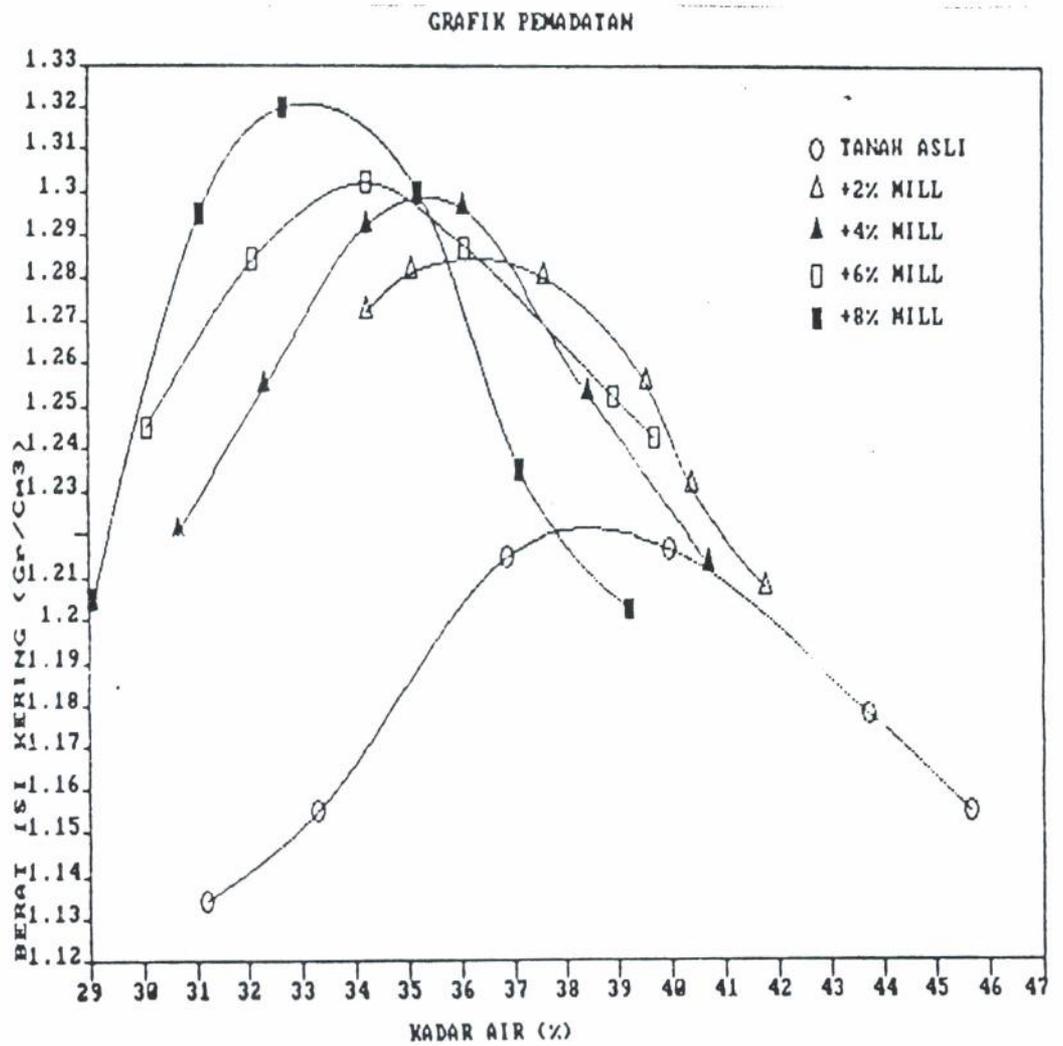
Hasil dari pengujian kepadatan standart pada tanah Organik, serta tanah yang dicampur dengan berbagai prosentase Mill dapat dilihat pada *Tabel 4.3.1.* dan *Gambar 4.3.1.*

Dari hasil pengujian pemadatan pada gambar 4.3.1. tersebut, terlihat bahwa dengan penambahan jumlah prosentase Mill, memberikan pengaruh yang sangat berarti kepada nilai kepadatan kering maksimum dan nilai kadar air optimum dari masing - masing campuran.

Pemberian jumlah prosentase Mill pada jenis tanah ini, menyebabkan menurunnya nilai kadar air optimum (W_{opt}). Nilai kepadatan kering maksimum ($\gamma_d \max$) pada penambahan 2 % dan 4 % Mill mengalami kenaikan, sedangkan pada penambahan 6% Mill nilai kepadatan kering maksimum ($\gamma_d \max$) mengalami kenaikan dan pada penambahan 8% Mill mengalami kenaikan pula. Hal ini disebabkan pada waktu terjadinya proses flokulasi (Penggumpalan), dimana air tanah yang seharusnya digunakan oleh kalsium untuk berhidrasi terdesak dengan adanya butiran marmer ($CaCO_3$) sehingga pada waktu terjadinya flokulasi (Penggumpalan) terjadi pembentukan ruang pori - pori yang sangat kecil (semangkin padat) sehingga nilai dari kepadatan

No.	Bahan	Kadar Air Optimum (Wopt) %	Kerapatan Kering Max (γ_d max) gr / Cm3
1.	Tanah Asli	38.45	1.220
2.	Tanah + 2 % Mill	36.28	1.280
3.	Tanah + 4 % Mill	35.40	1.298
4.	Tanah + 6 % Mill	34.00	1.303
5.	Tanah + 8 % Mill	33.15	1.320

Tabel 4.3.1. Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standart.



Gambar 4.3.1. Hubungan Kerapatan Kering dan Kadar Air

kering maksimum menjadi besar, serta turunnya nilai kadar air optimum pada setiap penambahan persentase Mill. Proses flokulasi (Penggumpalan) dimana air tanah digunakan oleh kalsium untuk berhidrasi, dengan tidak mengurangi gesekan antar butir. Partikel - partikel yang tidak mengental dapat langsung dipadatkan, tidak demikian halnya dengan gumpalan - gumpalan yang besar 22).

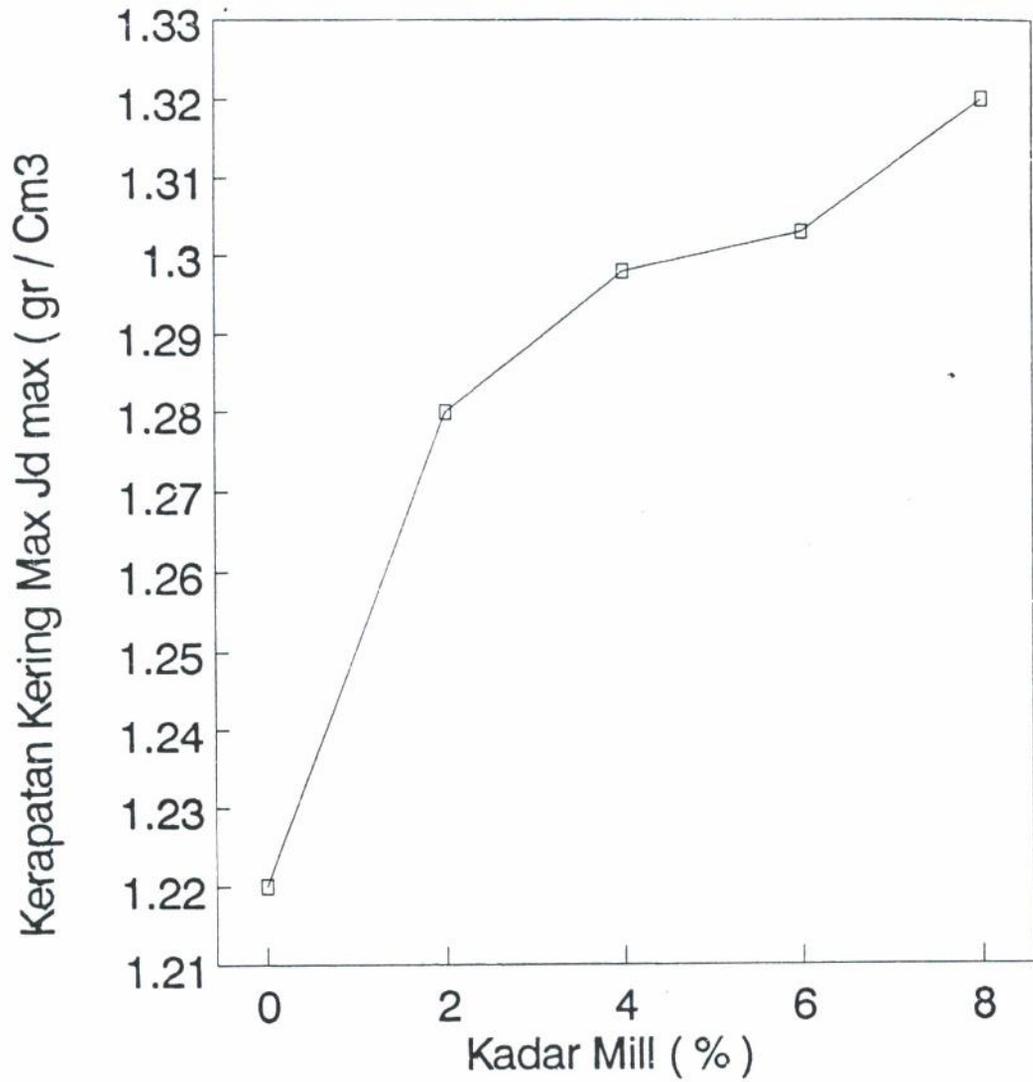
Hasil dari pengaruh penambahan prosentase Mill terhadap karakteristik pemadatan dari masing - masing campuran dapat dilihat pada Gambar 4.3.2 dan Gambar 4.3.3.

4.4. Pengaruh Penambahan Persentase Mill Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) .

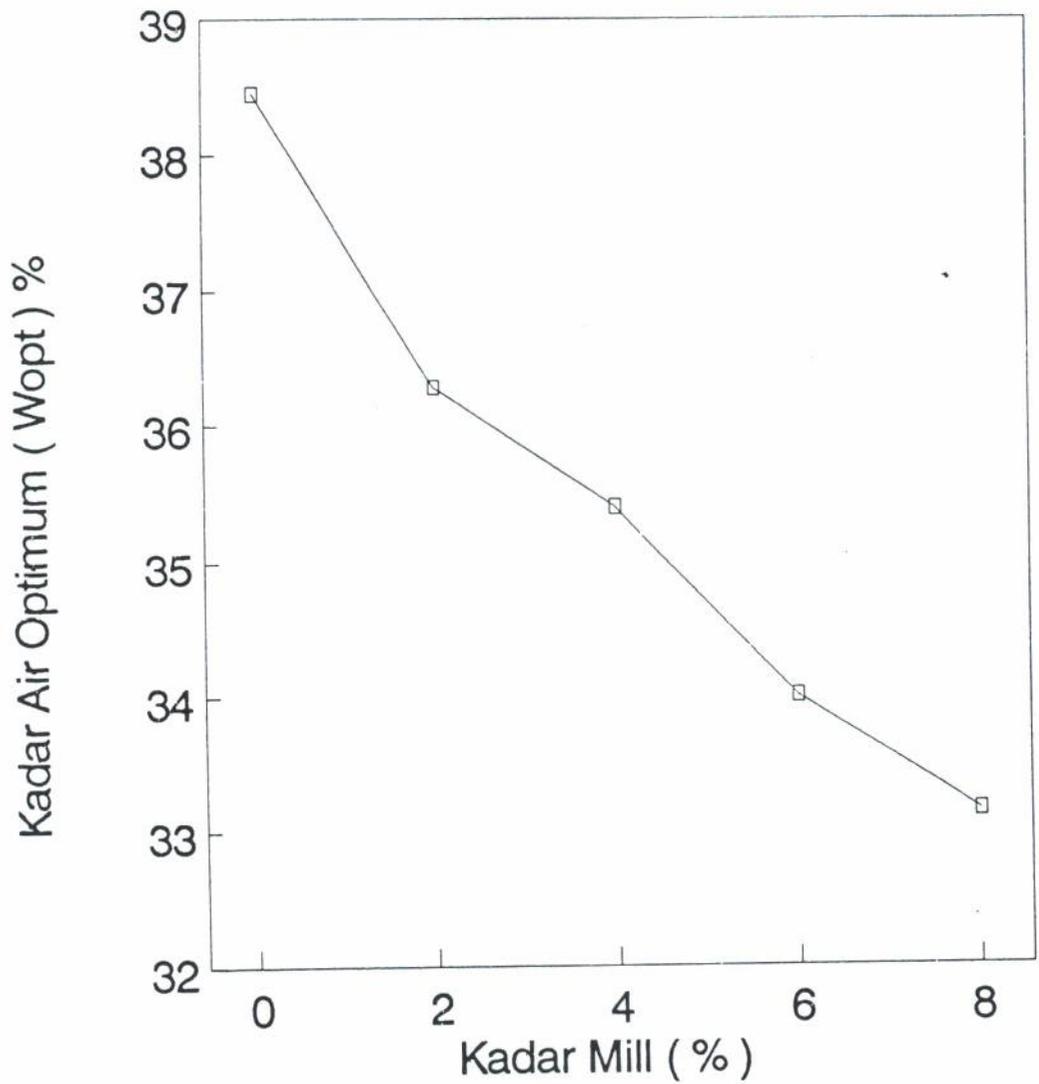
Hasil pengujian nilai CBR dapat dilihat pada Tabel 4.4.1. dan Tabel 4.4.2. serta dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4.1. dan Gambar 4.4.2.

Pemeriksaan nilai CBR dilakukan dalam dua keadaan yaitu dalam keadaan terendam (Soaked) dan tidak terendam (Unsoaked), dengan variasi waktu pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari.

22) Kezdi Stabilized Earth Roads ,Elsevier Scientific Publishing Company , New York 1979.



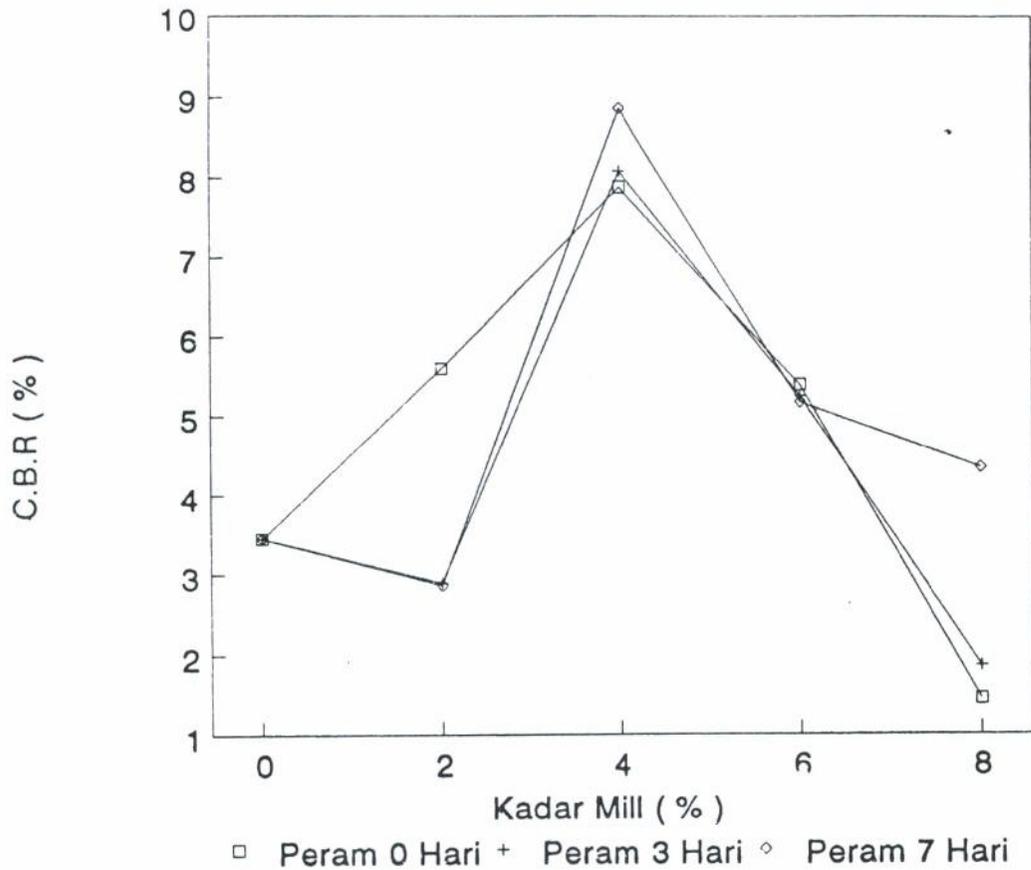
Gambar 4.3.2. Pengaruh Penambahan Mill Terhadap Karakteristik Pemasatan



Gambar 4.3.3. Pengaruh Penambahan Mill Terhadap Karakteristik Pemadatan

No.	Bahan	Bahan Stabilisasi Mill %	CBR Rendam (Soaked) % Dengan Berbagai Waktu Pemeraman		
			0 hari	3 hari	7 hari
1.	Tanah Asli	0	3.454	3.454	3.454
2.	Tanah + 2 % Mill	2	5.600	2.900	2.870
3.	Tanah + 4 % Mill	4	7.880	8.084	8.870
4.	Tanah + 6 % Mill	6	5.390	5.250	5.180
5.	Tanah + 8 % Mill	8	1.450	1.865	4.353

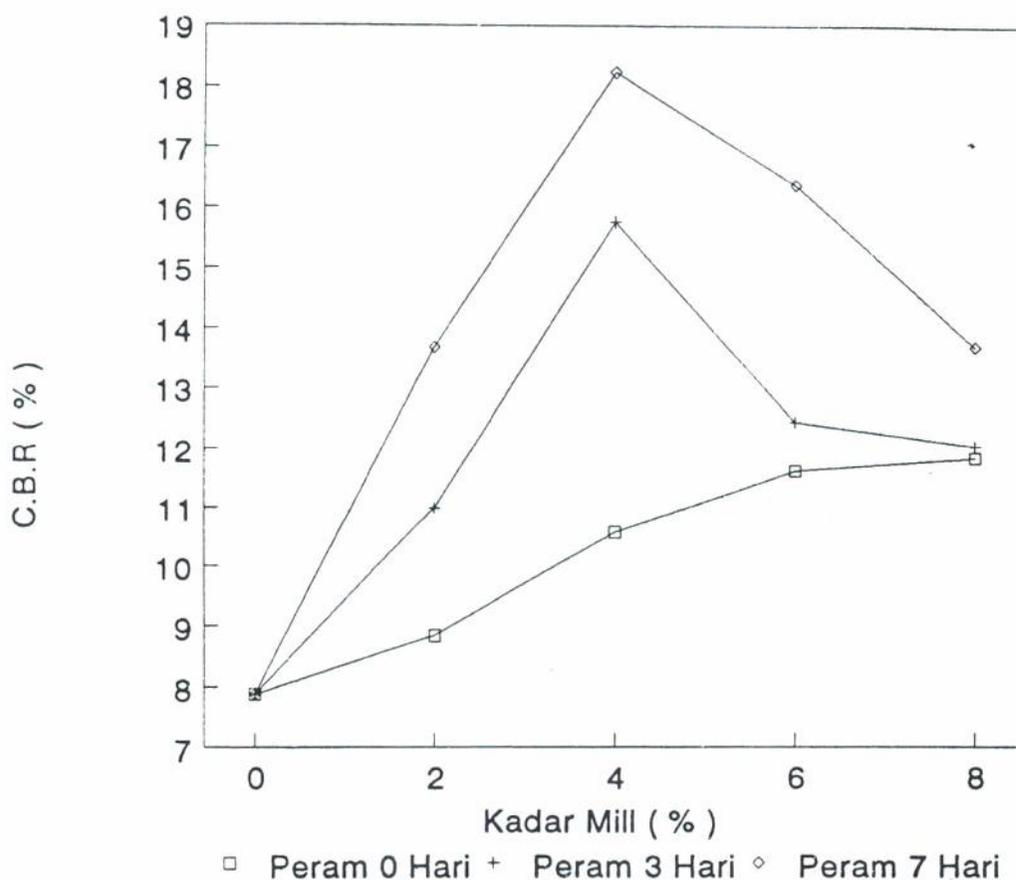
Tabel 4.4.1. Hasil Pemeriksaan CBR Rendam (Soaked) Dengan Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)



Gambar 4.4.1. Hubungan Nilai CBR Terhadap Kadar Mill Pada Keadaan Terendam (Soaked)

No.	Bahan	Bahan Stabilisasi Mill %	CBR Kering (Unsoaked) % Dengan Berbagai Waktu Pemeraman		
			0 hari	3 hari	7 hari
1.	Tanah Asli	0	7.876	7.876	7.876
2.	Tanah + 2 % Mill	2	8.840	10.985	13.680
3.	Tanah + 4 % Mill	4	10.570	15.753	18.240
4.	Tanah + 6 % Mill	6	11.600	12.437	16.375
5.	Tanah + 8 % Mill	8	11.814	12.020	13.680

Tabel 4.4.2. Hasil Pemeriksaan CBR Tidak Rendam (Unsoaked) Dengan Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)



Gambar 4.4.2. Hubungan Nilai CBR Terhadap Kadar Mill Pada Keadaan Tidak Terendam (Unsoaked)

Untuk hasil yang terendam (Soaked) dapat dilihat pada Gambar 4.4.1. , sedangkan untuk kondisi yang tidak terendam (Unsoaked) dapat dilihat pada Gambar 4.4.2.

Dari gambar - gambar grafik , terlihat bahwa penambahan kadar persentase Mill pada pengujian terendam (Soaked), nilai CBR campuran tanah mengalami kenaikan pada penambahan 2% dan 4% Mill, sedangkan pada penambahan 6% dan 8 % Mill nilai CBR rendam (Soaked) mengalami penurunan. Proses ini terjadi karena pada penambahan 2% dan 4% Mill campuran tanah masih mengalami proses flokulasi (Penggumpalan) yang sempurna sehingga kekuatan tanah menjadi besar, ini terlihat pada penambahan 4% Mill yang merupakan campuran dengan kadar konsentrasi yang ideal, dimana nilai CBR campuran tanah untuk pemeraman (curing) 0 hari 7, 88 % , pemeraman (curing) 3 hari nilai CBR campuran tanah 8,084% sedangkan untuk pemeraman (curing) 7hari nilai CBR campuran tanah 8,87 % , ini menunjukkan suatu peningkatan dalam kekuatannya , ini dapat dilihat juga terjadinya swelling yang relatif sangat kecil . sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan Mill yang paling ideal sebagai bahan stabilisasi tanah organik adalah sebesar 4 % . Sedangkan pada penambahan campuran 6% dan 8% Mill proses Flokulasi (Penggumpalan) tidak berjalan dengan

sempurna, ini disebabkan karena air tanah yang diperlukan untuk proses terjadinya hidrasi terdesak dengan adanya kelebihan unsur batu marmer (CaCO_3) sehingga tanah menjadi lemah.

Untuk nilai CBR yang tidak terendam (Unsoaked) dengan penambahan prosentase campuran Mill mengalami kenaikan, terutama pada campuran 4% Mill dkenaikan nilai CBR sangat besar sejalan dengan waktu pemeraman (curing). Ini terlihat untuk waktu curing 0 hari nilai CBR 10,57 %, untuk waktu pemeraman (Curing) 3hari nilai CBR 15,753 % dan untuk waktu curing 7 hari nilai CBR 18,24 %.

4.5. Pengaruh Penambahan Porsentase Mill Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Unconfined).

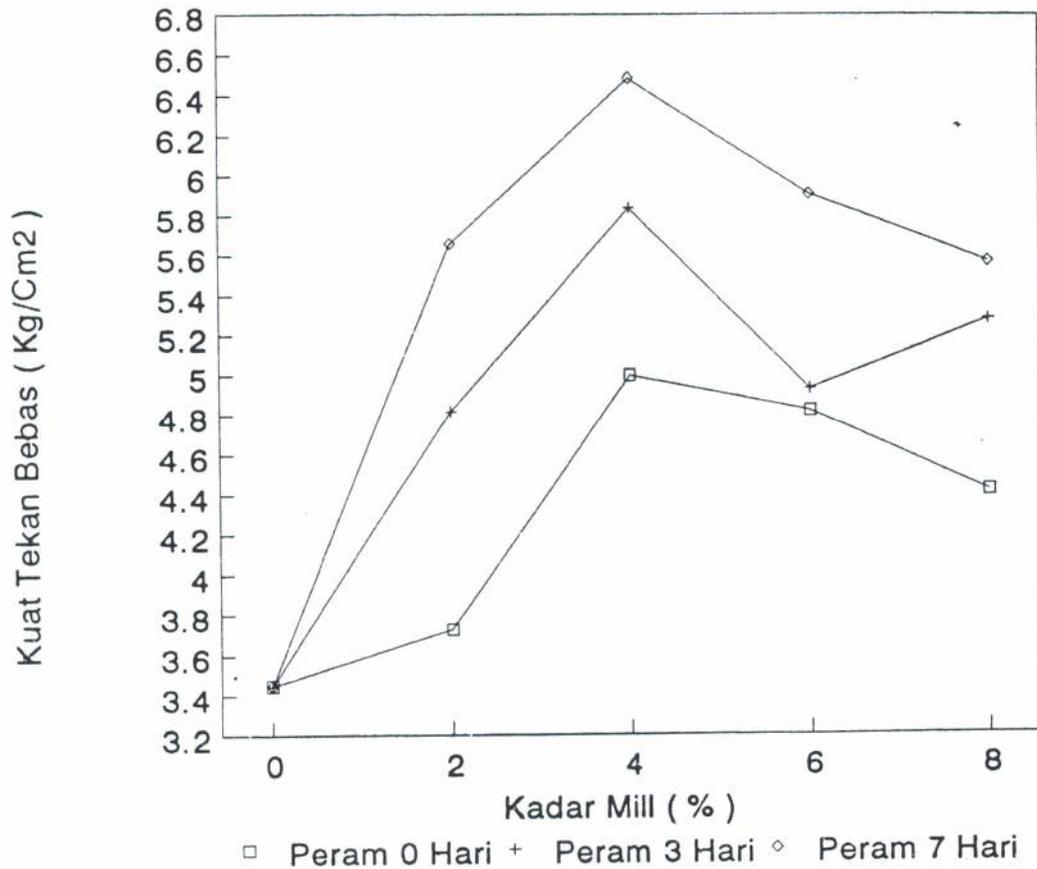
Perubahan nilai kuat tekan bebas dapat dilihat pada Tabel 4.5.1. , Gambar 4.5.1. dan Gambar 4.5.2. Pengujian untuk tanah asli tidak mengalami proses pemeraman (Curing) ini disebabkan karena nilai perubahan akibat adanya waktu pemeraman (Curing) sangat kecil sekali bahkan dianggap sama saja.

Akibat adanya waktu pemeraman (Curing) , memperlihatkan adanya kenaikan kekuatan tanah. Kenaikan kekuatan tanah ini meningkat dengan adanya penambahan campuran bahan stabilisasi Mill sesuai dengan banyaknya jumlah porsentase campuran, dan dengan semakin

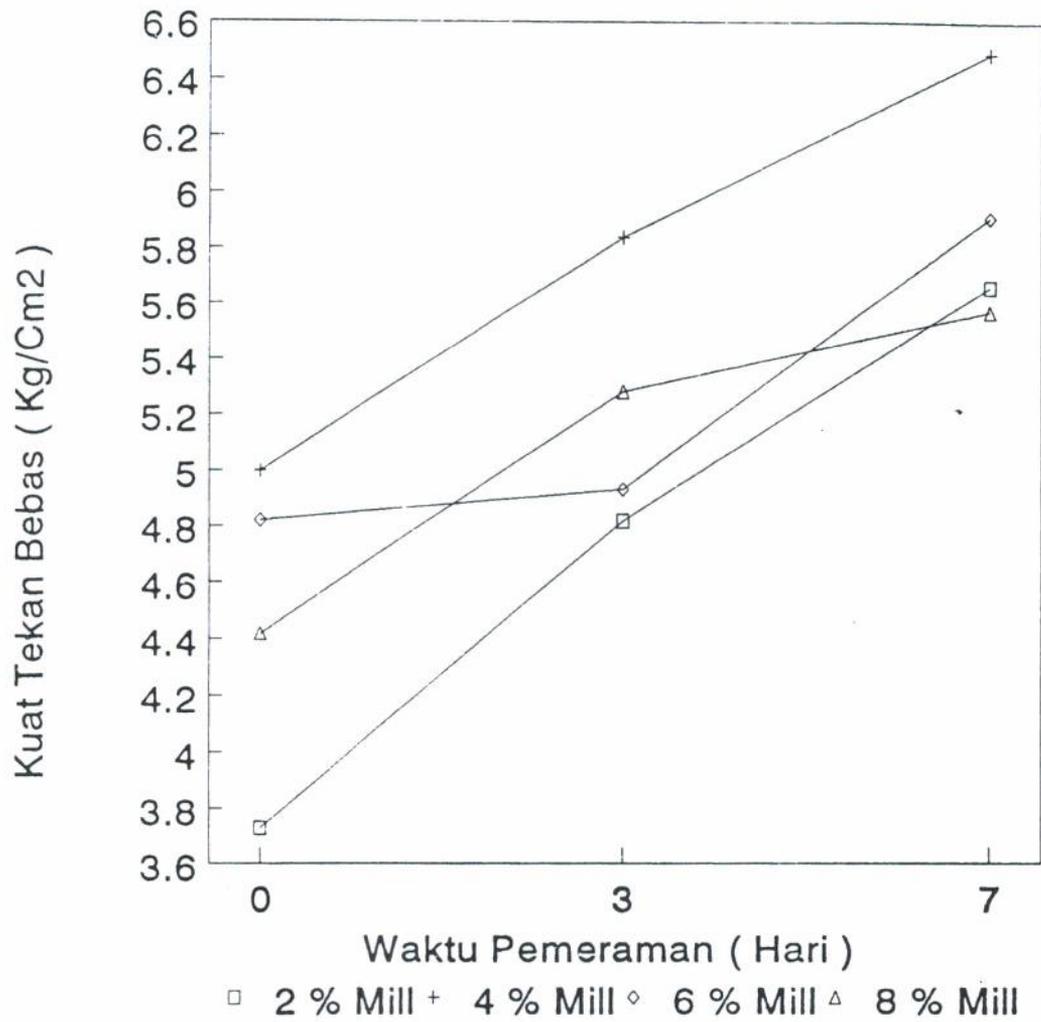
lamanya waktu pemeraman yang diberlakukan pada benda uji tersebut. Nilai kekuatan tekan bebas yang terbesar terlihat pada penambahan campuran 4% Mill , ini terlihat pada tabel 4.5.1. pada waktu pemeraman (Curing time) 0 hari 4,998 % , waktu pemeraman (Curing Time) 3 hari nilainya 5,836 % dan untuk waktu pemeraman (curing Time) 7 hari nilainya 6,489 % . Ini menunjukkan suatu peningkatan sejalan dengan adanya waktu pemeraman, ini disebabkan dengan penambahan campuran 4 % Mill terhadap tanah Organik menunjukkan suatu hasil kepadatan tinggi dimana Mill sebagai bahan stabilisasi mendesak udara dalam rongga tanah dan air sehingga didapat suatu hasil pemadatan yang tinggi ini disebabkan bahan stabilisasi Mill merupakan batuan marmer dengan unsur kimia $CaCO_3$ yang bersifat Non kohesif terhadap dirinya dan tanah campurannya, dimana bahan Stabilisasi Mill hanya bersifat sebagai Filler untuk mengisi rongga udara dalam pori serta mendesak kadar air tanah dengan bantuan proses pemadatan .

No.	Bahan	Bahan Stabilisasi Mill %	Kuat Tekan Bebas Kg/Cm ²		
			0 hari	3 hari	7 hari
1.	Tanah Asli	0	3.45	3.45	3.45
2.	Tanah + 2 % Mill	2	3.729	4.818	5.658
3.	Tanah + 4 % Mill	4	4.998	5.836	6.489
4.	Tanah + 6 % Mill	6	4.820	4.931	5.906
5.	Tanah + 8 % Mill	8	4.419	5.281	5.568

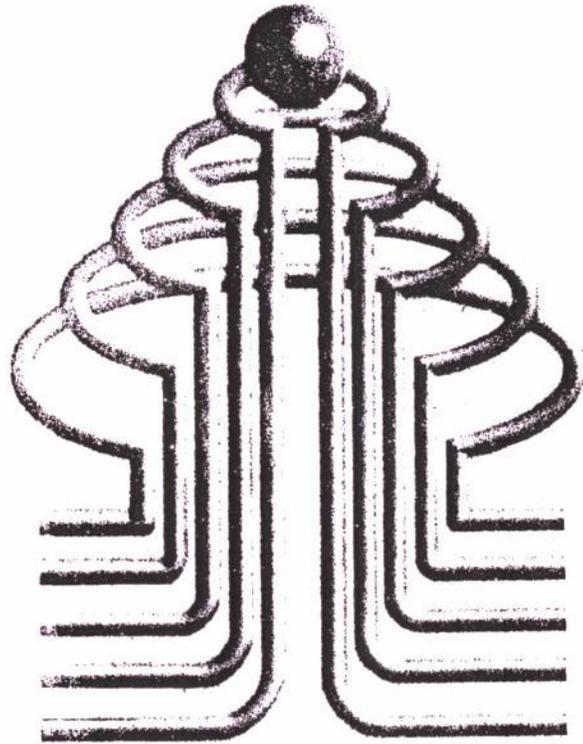
Tabel 4.5.1. Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Bebas. Berbagai Masa Pemeraman (Curing Time)



Gambar 4.5.1. Pengaruh Mill Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas.



Gambar 4.5.2. Hubungan Nilai Kuat Tekan Bebas Dengan Waktu Pemeraman



ISTN

BAB. V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Dari hasil pengujian batas - batas Atterberg terhadap contoh tanah asli dimana nilai batas cair (LL) 92 % , Batas Plastis (PL) 42,53 % , Indeks Plastis (PI) 49,47 % , dapat digolongkan menurut Klasifikasi Tanah Cara U.S.C.S hasil pengujian tanah asli ini termasuk dalam golongan tanah (OH) yaitu Lempung Organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, Lanau Organik. Menurut hasil Analisa Kimia secara Konvensional terhadap tanah asli bahwa Hilang Pijar 16.6 % unsur hara atau unsur Organik yang terbakar habis, ini menunjukkan bahwa tanah asli tersebut mengandung unsur Organik sebesar 16.6 % . Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah termasuk Tanah Organik.

Dari hasil pemeriksaan pengujian terhadap contoh tanah asli dibandingkan dengan contoh tanah yang dicampur bahan Miil dalam berbagai variasi persentase, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan bahan stabilisasi Miil sebesar 2% dan 4% terhadap tanah Asli akan menyebabkan batas cair (LL) menjadi turun, Batas Plastis

(PL) turun, sehingga menyebabkan turunnya nilai Indexs Plastis (PI). Untuk penambahan bahan stabilisasi sebesar 6 % dan 8 % terhadap Tanah Asli akan menyebabkan Batas Cair (LL) menjadi naik, Batas Plastis (PL) turun, sehingga menyebabkan naiknya nilai Indexs Plastisitas (PI).

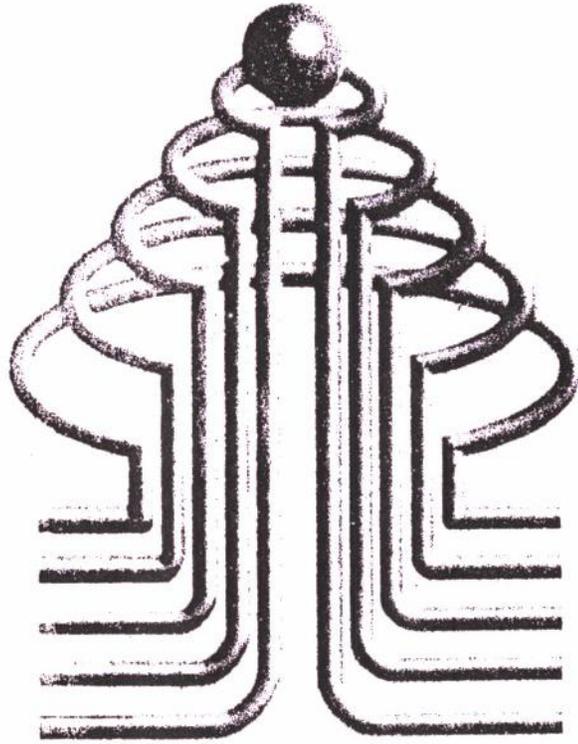
2. Penambahan bahan stabilisasi Mill memberikan pengaruh kepada karakteristik pemadatan. Dengan bertambahnya pesentase Mill maka Kerapatan Kering maksimum naik, sedangkan Kadar Air Optimum (W_{opt}) menjadi turun.
3. Pada nilai CBR memperlihatkan bahwa dengan penambahan bahan stabilisasi 2 % sampai Mill 4 % , kekuatan tanah semakin meningkat dan sejalan dengan semakin lamanya masa pemeraman (Curing Time), sedangkan pada penambahan bahan Stabilisasi Mill 6 % sampai 8 % , kekuatan tanah semakin menurun.
4. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas, terlihat bahwa nilai kuat tekan bebas maksimum adalah 4.998 kg/cm^2 didapat pada campuran 4 % Mill, kekuatan ini meningkat sejalan dengan waktu pemeraman (Curing Time) dimana untuk pemeraman 3 hari kuat tekan bebas maksimum meningkat menjadi 5.836 kg/cm^2 untuk pemeraman 7 hari kuat tekan bebas maksimum meningkat menjadi 6.489 kg/cm^2 .
5. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa penggunaan

bahan stabilisaasi Mill untuk tanah Organik menunjukkan kenaikan pada kekuatan daya dukung tanah ini terlihat pada campuran bahan stabilisasi Mill 4% dapat meningkatkan daya dukung tanah organik yang mempunyai unsur hara sebesar 16.6 %.

5.2. Saran - Saran

Untuk mengetahui hasil yang lebih baik dari Campuran Tanah Organik dan bahan Stabilisasi Mill, perlu diadakan penelitian lebih dahulu dalam menentukan perbandingan besarnya campuran persentase Mill terhadap penggunaan Tanah Organik, dan besarnya persentase unsur Hara yang terdapat dalam tanah Organik.

Sebelum pemakaian Mill dilakukan untuk stabilisasi tanah secara umum dan luas, disarankan untuk melakukan penelitian stabilisasi bahan pencampur lainnya.



ISTN

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga,
Pedoman Penuntun Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya,
No. 01/PD/B/1983.
- Ir. Moh Anas Aly, Tinjauan terhadap Buku Pedoman Tebal Perkerasan
No : 04/Pd/Bm/1974.PU. Direktorat Bina Marga
- Sargios, Pavement And Surfacing For Highways And Air Port 1975
- Ingels, O.G, and J.B. Metcalf, Soil Stabilization
Principle and Practice, Buterworths, Sydney 1972.
- Kezdy, A. Stabilized Earth Roads, Elsevier Scientific
Publishing Company, New York 1979.
- Suhardjito Paradoto, Teori, Petunjuk Laboratorium Dan Contoh
Soal tentang Kekuatan Geser Tanah, Jurusan Teknik
Sipil ITB Bandung.
- Bowls, Joseph E, sifat - Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah,
Edisi Kedua, Penerbit erlangga 1989.
- K.A. Zamhari, Analisa Penyelidikan Tanah Dasar TB 12,
Dirjen Bina Marga, Dep P.U.
- Alan Rachlan BRE, Wahyu Poernama BE, laporan Penelitian
Pengaruh Kapur Terhadap Tanah Lempung, Dirjen Bina
marga, Dep P.U.
- Robert. Kerbs and Richard D. Walker, Highway Materials
Mc Graw Hill, New York, 1975.
- Ir. Hermin Tjayati, Stabilization Of A heavy clay Using lime

- Pozzolan trass Admixture, Thesis 1986
- Dr. Ir. LD Wesley, Mekanika Tanah , Penerbit P.U. 1977.
- Atkins, H.H. Highway materials Soils And Concretes
Reston, Virginia A Prentice Hall Company 1980.
- National Lime Association, Lime Stabilization Construction
Washington 1976.
- Sudjadji Karmawaan BRE, Lime Soil Stabilization, Untuk
Konstruksi jalan, Biro Teknik, Dep. P.U. 1968
- Yoder E.J. and Witczak M.W, Principles of Pavement Design
Second Edition, Wiley, New York 1970
- Ir. K.A. Zamhari, Analisa Penyelidikan Tanah Dasar TB 12
Dirjen Bina Marga, Dep. P.U.
- Ir. Soetrisno, Campuran Pasir Dan Lempung Untuk Perbaikan
Mutu Tanah. Majalah Teknik Jalan - 020
- Silvia Sukirman Perkerasan Lentur Jalan, Penerbit Nova.
- Ir. Shirley LH. Penuntun Praktis Geoteknik Dan Mekanika
Tanah.