



LAPORAN **AKHIR**

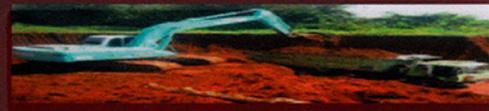
PEKERJAAN TANAH UNTUK
JALAN



PUSAT PENELITIAN
DAN PENGEMBANGAN
**JALAN DAN
JEMBATAN**

ISBN978-602-264-101-8

PEKERJAAN TANAH UNTUK JALAN



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

PEKERJAAN TANAH UNTUK JALAN

Diproduksi	Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Penyusun	Ir. Rudy Febrijanto, MT Yudi Hardiana, ST.MT Deni Hidayat, ST Suantoro Wicaksono, ST. M.Eng Amad Jaenudin, SST Drs. M. Suherman Sumarno, BE Ir. Marzuki
Editor	Yudi Hardiana, ST.MT NB. R. Noor Suarni, S.Sos.M.Si
Desain & Tata Letak	Irfan Kusfani

Cetakan ke 2 Tahun 2016, 107 Halaman

@Pemegang Hak Cipta Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

ISBN : 978-602-264-101-8

Diterbitkan oleh :

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Badan Penelitian dan Pengembangan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Jl. AH. Nasution No. 264 Ujung Berung – Bandung 40239

Informasi lebih lanjut hubungi :

info@pusjatan.pu.go.id

pemasaran@pusjatan.pu.go.id

Bidang Standardisasi dan Kerjasama

Kata Pengantar

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mempunyai tugas menyelenggarakan urusan pemerintah di bidang pekerjaan umum dalam pembangunan, pengelolaan serta pengembangan di bidang jalan dan jembatan guna mendukung perekonomian nasional dalam rangka mewujudkan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, pola pembangunannya harus mampu menjawab kebutuhan strategis yang berlingkup nasional, regional maupun lokal. Untuk itu dalam menyusun program pembangunan, pemerintah perlu memperhatikan banyak sektor khususnya yang terkait potensi lahan dan lingkungan serta sumber daya manusia, baik secara kuantitas maupun kualitas.

Dalam rangka menunjang program pemerintah, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menerbitkan Buku **"PEKERJAAN TANAH UNTUK JALAN"**. Buku ini disusun sebagai salah satu referensi dalam rangka pembinaan sumber daya manusia, sekaligus sebagai bahan pembelajaran bagi perencana, pelaksana, pengawas dan praktisi yang terkait dalam bidang jalan dan jembatan.

Buku ini disiapkan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, atas segala bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan buku ini, diucapkan banyak terima kasih.

Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi acuan dalam menunjang program pemerintah dalam pembangunan jalan dan jembatan.

Bandung, September 2016

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

t.t.d

Dr. Eng. Ir. Herry Vaza, M. Eng. Sc

Daftar Isi

1	PENDAHULUAN	1
2	TANAH	2
2.1	Pembentukan Tanah	2
2.2	Hasil Proses Pelapukan	2
2.2.1	Tanah Residual	2
2.2.2	Tanah Terangkut	3
2.3	Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir	4
3	BATUAN	5
3.1	Pembentukan Batuan	5
3.1.1	Batuan Sedimen	5
3.1.2	Batuan Beku	8
3.1.3	Batuan Malihan (<i>Metamorf</i>)	9
3.2	Struktur Geologi	11
4	PEKERJAAN TANAH	13
4.1	Prinsip Dasar Perencanaan Galian dan Timbunan	13
4.2	Pekerjaan Lereng Galian	14
4.2.1	Perencanaan	14
4.2.2	Penampang melintang	15
4.2.3	Galian yang Memerlukan Perhatian Khusus	16
4.2.4	Pelaksanaan lereng galian	19
4.2.5	Kesalahan-kesalahan Umum	19
4.3	Pekerjaan Timbunan	20
4.3.1	Penampang Melintang Timbunan	21
4.3.2	Material Timbunan	21
4.3.3	Timbunan yang Memerlukan Perhatian Khusus	22
4.3.4	Pelaksanaan Lereng Timbunan	25
4.3.5	Kesalahan-kesalahan Umum	25
4.3.6	Pemadatan timbunan	26
4.4	Penyiapan Badan Jalan	27
4.4.1	Umum	27
4.4.2	Bahan	28
4.4.3	Kesiapan Kerja	28
4.4.4	Pelaksanaan Penyiapan tanah dasar	29
4.4.5	Pengendalian Mutu	29

4.5	Pekerjaan Tanah yang Termuat Dalam Spesifikasi Umum.....	29
4.5.1	Pekerjaan Galian	30
4.5.2	Pekerjaan Timbunan.....	32
5	PENGUJIAN TANAH DI LABORATORIUM	36
5.1	Sifat Umum Tanah	36
5.1.1	Pendahuluan.....	36
5.1.2	Definisi Serta Hubungan Antara Jumlah Butir, Air dan Udara dalam Tanah.....	36
5.2	Percobaan Laboratorium untuk Berat Isi, Kadar Air dan Berat Jenis.....	38
5.2.1	Berat Isi.....	38
5.2.2	Kadar Air.....	39
5.2.3	Berat Jenis.....	40
5.3	Besar Butiran Tanah dan Cara Mengukurnya	41
5.3.1	Analisis Saringan	43
5.3.2	Analisis Hidrometer.....	45
5.4	Batas-Batas Atterberg.....	45
5.4.1	Batas Cair (<i>Liquid Limit, LL</i>).....	46
5.4.2	Batas Plastis (<i>Plastic Limit, PL</i>).....	47
5.4.3	Indeks Plastis (<i>Plasticity Index, PI</i>)	48
5.4.4	Indeks Kecairan (<i>Liquidity Index, I_L</i>) dan Indeks Konsistensi (<i>Consistency Index, I_c</i>).....	48
5.4.5	Kegunaan Batas-Batas Atterberg.....	49
5.5	Kepadatan Relatif pada Pasir dan Kerikil.....	50
5.6	Sensitivitas pada Lempung	52
5.7	Tanah Ekspansif	53
5.7.1	Karakteristik tanah ekspansif.....	53
5.7.2	Kerusakan Perkerasan Akibat Tanah Ekspansif.....	53
5.7.3	Identifikasi Tanah Ekspansif.....	56
6	DESKRIPSI DAN KLASIFIKASI TANAH	60
6.1	Pendahuluan.....	60
6.2	Landasan Umum untuk Pendeskripsian dan Pengklasifikasian Tanah.....	60
6.2.1	Batu Kerikil dan Pasir.....	60
6.2.2	Lempung.....	61
6.2.3	Lanau.....	61
6.3	Deskripsi Sistematis.....	61
6.4	Deskripsi Visual.....	63

6.5	<i>Sistem Unified Soil Classification System (USCS)</i>	64
6.6	<i>Sistem American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	69
7	PEMADATAN	75
7.1	Prinsip Dasar Pemadatan	76
7.2	Teori Pemadatan.....	76
7.2.1	Teori Lubrikasi (Pelumas)	76
7.2.2	Teori Tegangan Efektif.....	77
7.3	Pengujian Pemadatan	77
7.3.1	Pemadatan Tanah di Laboratorium.....	77
7.4	Metode Pemadatan	81
7.4.1	Sifat Tanah yang Dipadatkan	81
7.5	Pemadatan Tanah di Lapangan	88
7.5.1	Peralatan Pemadatan	88
7.5.2	7 Energi Pemadatan	90
7.5.3	Hubungan Antara Jumlah Lintasan, Berat Isi Kering dan Kadar Air	92
7.5.4	Variasi Berat Isi Kering Terhadap Kedalaman	92
7.6	Kontrol Kepadatan di Lapangan	94
7.6.1	Cara Destruktif	94
7.6.2	Cara Non Destruktif	95
7.7	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	95
7.7.1	Pengujian <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	95
7.8	Kontrol Kepadatan dengan <i>Sand Cone</i>	99
7.9	Koreksi Kepadatan	101
7.9.1	Koreksi Kepadatan dengan Menggunakan Rumus	101
7.9.2	Koreksi Kepadatan dengan Menggunakan Grafik	102
	DAFTAR PUSTAKA	107

Daftar Gambar

Gambar 2.1. Transportasi Tanah dan Pengendapan.....	2
Gambar 3.1. Siklus Batuan.....	5
Gambar 3.2. Contoh singkapan tuf (daerah Ciskasah).....	6
Gambar 3.3. Contoh Singkapan Batupasir.....	7
Gambar 3.4. Contoh Singkapan Breksi Tufan (daerah Ciskasah).....	7
Gambar 3.5. Contoh Singkapan Serpih.....	7
Gambar 3.6. Klasifikasi Batuan Beku.....	8
Gambar 3.7. Contoh Singkapan Granodiorit (Lokasi Sungai Cikepok).....	9
Gambar 3.8. Contoh Singkapan Dasit (Lokasi Tepi Jalan Poros Cipatujah).....	9
Gambar 3.9. Contoh Singkapan Batuan Metamorf Gnesis.....	10
Gambar 3.10. Contoh Singkapan Batuan Metamorf Sekis.....	10
Gambar 3.11. Jenis-jenis Sesar.....	11
Gambar 3.12. Jenis-jenis Lipatan.....	12
Gambar 4.1 Kondisi Stabilitas untuk Timbunan dan Galian Lereng pada Tanah.....	14
Gambar 4.2 Kemiringan dan Tinggi Lereng Galian.....	15
Gambar 4.3 Kondisi Tanah dan Bentuk Kemiringan Lereng.....	15
Gambar 4.4 Kemiringan Penampang Melintang Bahu.....	16
Gambar 4.5 Longsoran Lereng Alam pada Serpih Lapuk.....	17
Gambar 4.6 Runtuhan pada Lereng Batu Pasir.....	18
Gambar 4.7 Hubungan Antara Dip dengan Kemiringan Lereng.....	19
Gambar 4.8 Penampang Lereng Timbunan.....	21
Gambar 4.9 Mode Keruntuhan Badan Jalan di Atas Tanah yang Miring.....	22
Gambar 4.10 Mode Keruntuhan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak.....	23
Gambar 4.11 Kerusakan Oprit Jembatan.....	24
Gambar 4.12 Timbunan Sistem Bertangga.....	25
Gambar 4.13 Kurva Hasil Pemasatan di Laboratorium.....	27
Gambar 5.1. Diagram Tanah.....	37
Gambar 5.2. Alat Pengujian Kadar Air.....	40
Gambar 5.3. Alat Pengujian Berat Jenis.....	41
Gambar 5.4. Grafik <i>Particle Size Distribution Curve</i>	42
Gambar 5.5. Alat Pengujian Analisis Saringan.....	44
Gambar 5.6. Pengujian Analisis Saringan.....	44
Gambar 5.7. Pengujian Hidrometer.....	45
Gambar 5.8. Batas-Batas Atterberg.....	46

Gambar 5.9. Alat Pengujian Batas-batas Atterberg	47
Gambar 5.10. Alat Batas-Batas Atterberg	47
Gambar 5.11. Alat dan Pengujian Batas Plastis	48
Gambar 5.12. Aplikasi Batas-batas Atterberg	50
Gambar 5.13 Retak Memanjang Lokasi Ruas Jalan Banggo-Dompu, NTB	54
Gambar 5.14 Contoh Penurunan Perkerasan Jalan	55
Gambar 5.15 Contoh Longsoran Badan Jalan.....	55
Gambar 5.16 Grafik Interpretasi Tanah Lempung Van der Merwe, 1964.....	57
Gambar 5.17 Derajat Ekspansi Berdasarkan Kriteria Chen (1965).....	58
Gambar 5.18 Sebaran Nilai Potensi pengembangan Menurut Seed, et al., 1962	59
Gambar 6.1 Percobaan Dilatasi.....	62
Gambar 6.2 Grafik Plastisitas.....	66
Gambar 6.3. Bagan Alir untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Inorganik.....	67
Gambar 6.4. Bagan Alir untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Organik	68
Gambar 6.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO.....	71
Gambar 6.6 Rentang Nilai Lanau dan Lempung Berdasarkan Batas Cair dan Indeks Plastisitas.....	72
Gambar 6.7 Diagram Indeks Grup.....	73
Gambar 6.8 Penentuan Kel. A-4 – A-7	73
Gambar 7.1 Kerusakan Perkerasan Jalan yang Kurang Padat.....	75
Gambar 7.2 Kerusakan Perkerasan Jalan di Atas Gorong-gorong	75
Gambar 7.3 Susunan Partikel Tanah Sebelum dan Sesudah Dipadatkan	76
Gambar 7.4 Hubungan Antara Berat Isi dan Kadar Air	77
Gambar 7.5 Peralatan Cetakan dan Penumbuk	78
Gambar 7.6 Pemadatan Ringan dan Pemadatan Berat.....	79
Gambar 7.7 Data Hasil Pengujian Kepadatan	80
Gambar 7.8 Kurva Pemadatan untuk Empat Jenis Tanah	82
Gambar 7.9 Pengaruh Energi Pemadatan.....	83
Gambar 7.10 Perubahan Struktur Tanah Akibat Pemadatan.....	84
Gambar 7.11 Hubungan Antara Pemadatan Tanah dan Permeabilitas	85
Gambar 7.12 Efek Pemadatan terhadap Kompresibilitas Tanah Kohesif.....	86
Gambar 7.13 Pengaruh Pemadatan Terhadap Kuat Geser.....	87
Gambar 7.14 Potensi Pengembangan (<i>Swelling</i>) dan Susut (<i>Shrinkage</i>) Tanah	88
Gambar 7.15 Penggilas Roda Besi	90
Gambar 7.16 Penggilas Roda Karet.....	90
Gambar 7.17 Penggilas Kaki Kambing.....	90
Gambar 7.18 Penggilas Penggetar (<i>Vibrator</i>).....	90

Gambar 7.19 Energi Pemadatan dengan Penekanan (<i>Pressure</i>).....	91
Gambar 7.20 Energi Pemadatan dengan Peremasan (<i>Kneeding</i>).....	91
Gambar 7.21 Energi Pemadatan dengan Penggetaran (<i>Vibrating</i>).....	91
Gambar 7.22 Hubungan Antara Jumlah Lintasan, Berat Isi Kering, dan Kadar Air.....	92
Gambar 7.23 Variasi Berat Isi Kering Terhadap Banyaknya Lintasan	93
Gambar 7.24 Penentuan Tebal Lapisan Hampan.....	94
Gambar 7.25 Alat Uji CBR Laboratorium.....	96
Gambar 7.26 Contoh Grafik Pengujian CBR Laboratorium.....	97
Gambar 7.27 Uji CBR dan Beban Standar	98
Gambar 7.28 Nilai CBR Desain.....	98
Gambar 7.29 Pengaturan Peralatan Pengujain CBR Lapangan.....	99
Gambar 7.30 Alat Pengujian Konus Pasir	100
Gambar 7.31 Pengujian Konus Pasir	100
Gambar 7.32 Pengujian Rubber Balloon.....	101
Gambar 7.33 Nomogram Koreksi Kepadatan Bahan yang Mengandung Butir Kasar dengan Metode A dan B.....	103
Gambar 7.34 Nomogram Koreksi Kepadatan Bahan yang Mengandung Butir Kasar dengan Metode C dan D	105
Gambar 7.35 Perubahan Nilai CBR Akibat Perubahan Nilai MDD.....	106

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Jenis Tanah dan Ukuran Butirnya.....	4
Tabel 3.1. Klasifikasi Batuan Sedimen (Attewel & Farmer, 1976).....	6
Tabel 3.2. Klasifikasi Batuan Malihan (Attewel & Farmer, 1976).....	10
Tabel 4.1 Persyaratan Galian Biasa Untuk Timbunan dan Pengujian yang Diperlukan .	31
Tabel 4.2 Persyaratan Bahan dan Kepadatan Timbunan Biasa	33
Tabel 5.1. Definisi dan Istilah	37
Tabel 5.2 Kepadatan Pasir atau Kerikil.....	51
Tabel 5.3. Sensitivitas Lempung.....	52
Tabel 5.4 Korelasi Indeks Uji dengan Tingkat Pengembangan Berdasarkan Holtz dan Gibbs.....	56
Tabel 5.5 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan.....	58
Tabel 6.1. Klasifikasi Tanah AASHTO	70
Tabel 6.2 Kelas Subgrade (AASHTO)	73
Tabel 7.1 Perbedaan Pemasatan Ringan dan Pemasatan Berat	79
Tabel 7.2 Metode Pemasatan	81
Tabel 7.3 Daftar Koefisien Nilai r	102

1 Pendahuluan

Prinsip dasar dari pekerjaan tanah untuk jalan adalah dapat menyediakan ruang yang dibutuhkan untuk pergerakan lalu lintas dengan aman dan lancar. Tanah dasar sebagai fondasi tumpuan badan jalan harus mampu mendukung beban lalu lintas yang disalurkan melalui perkerasan tanpa terjadi deformasi yang berarti. Pekerjaan tanah untuk konstruksi jalan mencakup konstruksi lereng galian dan lereng timbunan yaitu menggali tanah permukaan dan menimbun serta memadatkannya.

Pembuatan struktur dinding penahan tanah sebagai struktur tambahan pada pekerjaan lereng galian atau lereng timbunan yang berfungsi untuk memperkuat bangunan struktur tanah dan gorong-gorong yang tertimbun dalam tanah untuk mengalirkan air termasuk dalam lingkup pekerjaan tanah. Tanah dan batuan sebagai bahan galian, material timbunan atau sebagai fondasi timbunan mempunyai sifat yang bermacam-macam dan kompleks, maka pekerjaan tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti karakteristik musiman, cuaca, curah hujan dan air rembesan dan lainnya.

Untuk itu diperlukan tindakan yang tepat untuk memastikan kapasitas dukung yang cukup bagi tanah yang berfungsi sebagai fondasi dan tanah dasar, kestabilan lereng galian atau lereng timbunan serta mengontrol penurunan timbunan sehingga diperoleh badan jalan yang mantap.

Tanah dan batuan yang berfungsi sebagai tanah galian harus cukup mantap sewaktu dilakukan penggalian dan tidak terjadi keruntuhan lereng, sehingga pada pemotongan lereng galian kondisi tetap stabil.

Tanah yang berfungsi sebagai material timbunan, dalam pemilihan material timbunan untuk bahan jalan seperti sifat gradasi, tidak mengandung organik, tidak tergolong tanah ekspansif dan memenuhi persyaratan bahan jalan.

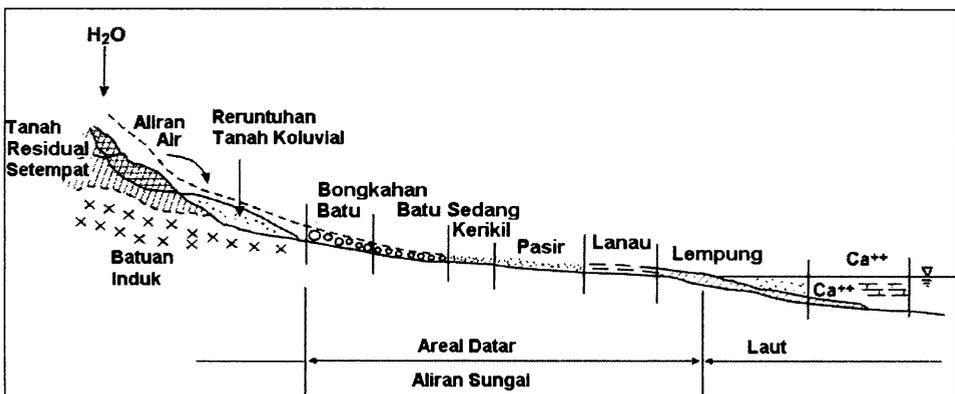
Tanah yang berkaitan sebagai pendukung fondasi bangunan atau fondasi jalan ditentukan oleh keadaan dan sifat tanah yang berada di bawah permukaan.

Data dan informasi sifat tanah yang berada di bawah permukaan dapat dilakukan melalui penyelidikan tanah yang meliputi penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian tanah di laboratorium.

2 Tanah

2.1 Pembentukan Tanah

Tanah yang menutupi permukaan bumi merupakan hasil pelapukan dari batuan induknya. Berdasarkan proses pembentukannya, tanah dapat digolongkan ke dalam 2 bagian yaitu : tanah residual (*residual soils*) dan tanah terangkut (*transported soils*). Tanah residu adalah tanah hasil pelapukan atau dekomposisi batuan yang berada pada tempatnya sewaktu tanah terbentuk. Tanah terangkut adalah tanah hasil pelapukan yang berada di tempat lain dengan cara pengangkutan oleh air, es, gravitasi atau angin.



Gambar 2.1. Transportasi Tanah dan Pengendapan

2.2 Hasil Proses Pelapukan

2.2.1 Tanah Residual

Di Indonesia, tanah residual terdapat di sebagian besar daerah dengan topografi pegunungan, perbukitan dan yang bergelombang dan ditandai oleh warna merah atau coklat sebagai hasil dari proses lateritisasi. Tanah residual terdiri dari tanah berbutir halus kelanauan atau kelempungan, yang memiliki konsistensi medium sampai dengan keras dan menampakkan adanya pelapisan atau horison.

2.2.2 Tanah Terangkut

Jika tanah berpindah ke lokasi yang baru melalui cara transportasi, maka disebut sebagai tanah terangkut. Jenis transportasi dan lingkungan pengendapannya, cukup berpengaruh pada sifat dari endapan tersebut. Jenis tanah terangkut menurut cara pemindahannya:

- tanah yang diendapkan oleh udara,
- tanah yang diendapkan oleh es,
- tanah yang diendapkan akibat gravitasi,
- abu vulkanik,
- tanah yang diendapkan oleh air.

Transportasi dan pengendapan tanah diperlihatkan pada Gambar 2.1.

(1) Abu Vulkanik

Tanah yang berasal dari abu vulkanik terdapat di sebagian besar dari pulau-pulau vulkanik di Indonesia. Abu vulkanik, yang sebagian besar terdiri dari partikel berukuran lanau yang bercampur dengan bongkahan berukuran besar dan terdapat di sebagian besar daerah perbukitan, telah mengalami pelapukan lebih jauh dengan membentuk tanah vulkanik residual.

(2) Endapan Koluviial

Endapan tanah, yang telah mengalami pemindahan akibat gravitasi, disebut sebagai endapan koluviial. Ukuran sedimen tertentu yang dipindahkan oleh gravitasi, akan berkurang melalui tumbukan, membentuk partikel bersudut berukuran besar dengan gradasi yang jelek. Endapan longsoran, aliran lumpur, dan lawina membentuk tanah jenis ini. Tanah ini terdiri dari tanah berbutir halus sampai dengan bongkahan dan mungkin mengalami pelapukan lebih lanjut untuk membentuk tanah residual yang baru.

(3) Tanah yang Diendapkan oleh Air

Tanah yang diendapkan oleh air meliputi endapan alluvial dan endapan marin. Endapan ini terdapat di dataran aluvial, pantai, dan endapan delta di sebagian besar pulau-pulau besar seperti Jawa, Sumatra, Kalimantan dan Papua Barat. Bagian atas dari endapan ini sebagian besar merupakan endapan Holosen dan bagian bawah lapisan ini biasanya merupakan lapisan yang lebih keras yang berasal dari pengendapan yang lebih tua yaitu pada jaman Pleistosen.

Pengendapan bahan yang berasal dari degradasi partikel yang lebih besar terjadi bersamaan dengan pengendapan material melayang-layang dari partikel mineral lempung, lanau dan organik yang dihasilkan dari proses kimia dalam air. Jika pengendapan berlangsung pada air tawar, akan dihasilkan endapan lakustrin. Bila Elektrolitnya rendah, maka laju pengendapan akan rendah, dan pemisahan partikel akan terjadi. Partikel lanau dan partikel yang lebih besar dari lempung akan mengendap dan keluar dari suspensi satu per satu, sementara partikel yang lebih kecil tetap berada dalam bentuk gumpalan-gumpalan.

2.3 Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Secara umum jenis tanah berdasarkan ukuran butirnya dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Jenis Tanah dan Ukuran Butirnya

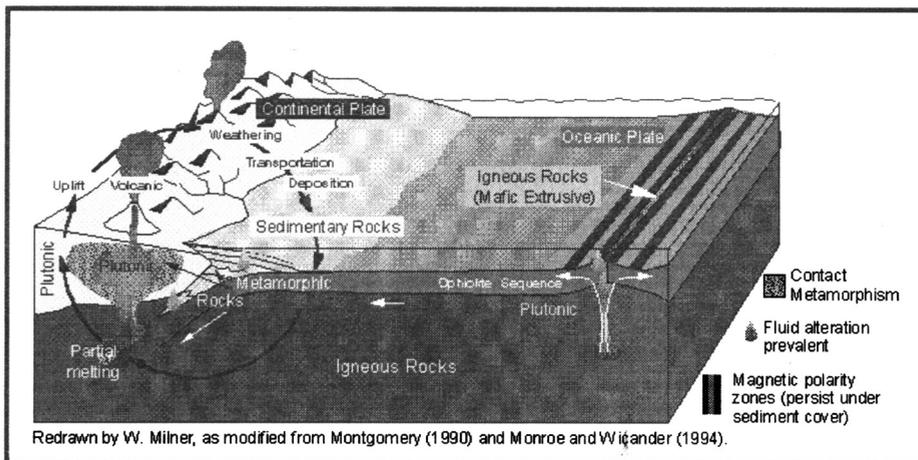
No	Jenis Tanah	Ukuran butir (mm)
1	Berangkal (<i>Boulder</i>)	> 300
2	Kerakal (<i>Coble</i>)	150 – 300
3	Kerikil (<i>Gravel</i>)	5,0 - 150
4	Pasir (<i>Sand</i>)	0,074 – 5,0
5	Lanau (<i>Silt</i>)	0,002 – 0,074
6	Lempung (<i>Clay</i>)	< 0,002

Ditinjau dari besarnya ukuran butir maka tanah dapat disebut berbutir kasar atau berbutir halus. Tanah dapat disebut berbutir kasar terdiri dari berangkal, kerakal, kerikil dan pasir yang mempunyai kemampuan dukung relatif tinggi, sering disebut non kohesif. Tanah berbutir halus terdiri dari lanau dan lempung yang mempunyai kemampuan dukung relatif rendah, sering disebut tanah kohesif.

3 Batuan

3.1 Pembentukan Batuan

Berdasarkan proses pembentukannya, batuan terbagi dalam tiga kelompok yaitu batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen (*sedimentary rock*) dan batuan malihan (*metamorphic rock*). Gambar 3.1 menjelaskan tentang proses pembentukan jenis-jenis batuan yang ada, dalam hubungannya dengan kondisi tektoniknya. Tanah dapat dikelompokkan berdasarkan formasinya menjadi tanah residual dan tanah terangkut.



Gambar 3.1. Siklus Batuan

3.1.1 Batuan Sedimen

Batuan sedimen secara garis besar diklasifikasikan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama terdiri dari butiran sedimen mekanis yang dibawa ke daerah pengendapan oleh air, angin atau aliran es/salju. Kelompok kedua terdiri dari mineral-mineral yang terbentuk oleh pengendapan secara kimia dari larutan dalam air, atau oleh akumulasi sisa-sisa bahan organik.

Batuan sedimen paling banyak menyusun dataran daerah Sumatera Timur, Kalimantan (Timur, Selatan, Tengah dan Barat), dan beberapa daerah di Jawa dan Papua Barat. Tabel 3.1 berikut ini memperlihatkan berbagai jenis batuan sedimen.

Tabel 3.1. Klasifikasi Batuan Sedimen (Attewel & Farmer, 1976)

		Kwarsa Dominan	Felspar Dominan + Mineral Lempung	
SEDIMEN MEKANIS	KASAR	Kwarsa Konglomerat		
	MEDIUM	Batupasir	Greywacke	Arkose
	HALUS	Kwarsit	Serpih Klorit dan Serpih Mika	Serpih/Batu Lumpur
SEDIMEN KIMIAWI		Batu Gamping, Dolomit, Evaporit, Rijang		

Jenis batuan (litologi) yang perlu dipertimbangkan dan sering menimbulkan masalah dalam bidang geoteknik antara lain serpih, sekis dan batu sabak karena sifat air slakingnya (pecah-pecah jika kontak dengan udara), lempung yang bersifat ekspansif.

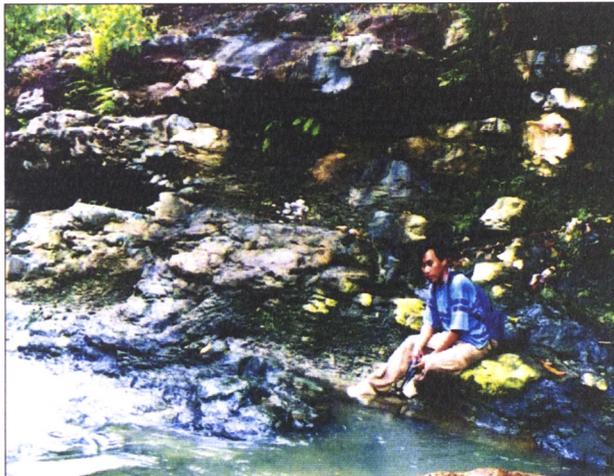
Dibawah ini terdapat beberapa foto contoh batuan sedimen yang tersingkap di lapangan (Gambar 3.2 sampai Gambar 3.5).



Gambar 3.2. Contoh singkapan tuf (daerah Cissasah)



Gambar 3.3. Contoh Singkapan Batupasir



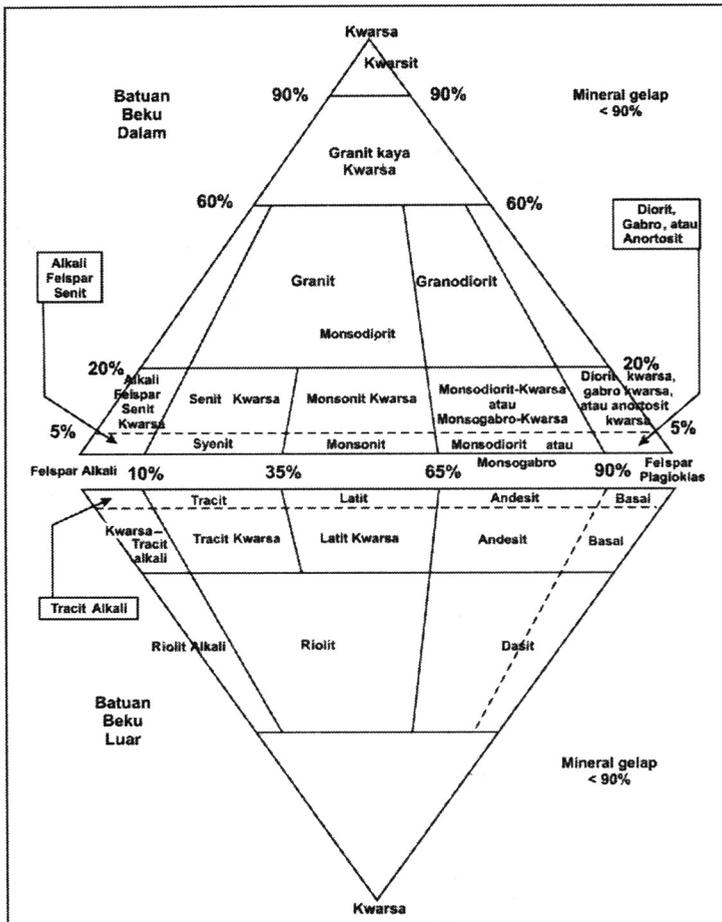
Gambar 3.4. Contoh Singkapan Breksi Tufan (daerah Cisasah)



Gambar 3.5. Contoh Singkapan Serpih

3.1.2 Batuan Beku

Batuan beku terbentuk dari magma (yang berasal jauh di bawah permukaan), naik ke permukaan dan mengkristal sebagai batuan padat baik di permukaan atau di bawah permukaan di dalam kerak bumi jika temperaturnya menurun. Gambar 3.6 memperlihatkan klasifikasi batuan beku berdasarkan mineraloginya dan cara terbentuknya. Dari gambar tersebut, yang termasuk batuan beku adalah granit, diorit, andesit dan basal.



Gambar 3.6. Klasifikasi Batuan Beku

Beberapa contoh batuan beku yang tersingkap di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.7. Contoh Singkapan Granodiorit (Lokasi Sungai Cikepok)



Gambar 3.8. Contoh Singkapan Dasit (Lokasi Tepi Jalan Poros Cipatujah)

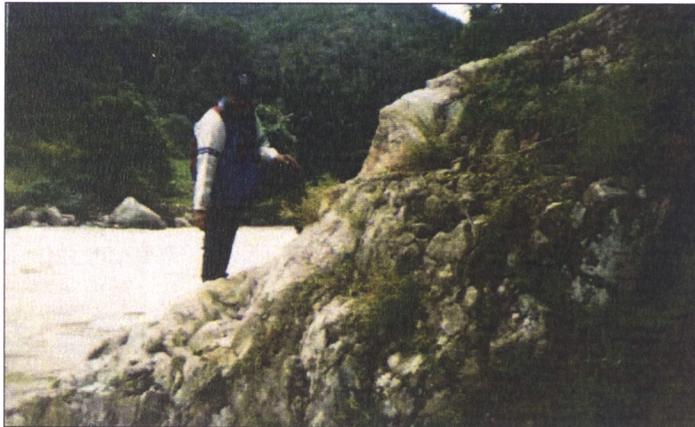
3.1.3 Batuan Malihan (*Metamorf*)

Batuan metamorf terbentuk dari batuan lain akibat terjadinya panas dan tekanan baik secara terpisah ataupun bersamaan. Ada dua kelompok batuan metamorf yaitu batuan metamorf foliasi dimana mineral-mineralnya mempunyai orientasi dalam arah tertentu, dan batuan metamorf masih yang mempunyai tekstur yang acak. Tabel 3.2 memperlihatkan klasifikasi batuan malihan. Seperti terlihat pada tabel tersebut, batuan malihan terdiri dari gnesis, migmatit, sekis, filite dan batu sabak (*slate*).

Tabel 3.2. Klasifikasi Batuan Malihan (Attewell & Farmer, 1976)

Tekstur	Nama Batuan	Fitur yang Diidentifikasi
BERBUTIR	Hornfel, Kwarsit	Berbutir halus, terutama terdiri partikel kwarsa
	Marmar	Partikel berbutir halus sampai kasar dari kalisit atau dolomit
GNEISIK	Gneis	Butiran mineral memanjang sampai pipih bersusun bergantian
SEKIS	Sekis, Serpentin, Batu Sabak (slate), Filit	Batuan berlapis tipis dengan porsi fillosilikat yang tinggi

Beberapa contoh batuan metamorf yang tersingkap di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 di bawah ini.



Gambar 3.9. Contoh Singkapan Batuan Metamorf Gneis

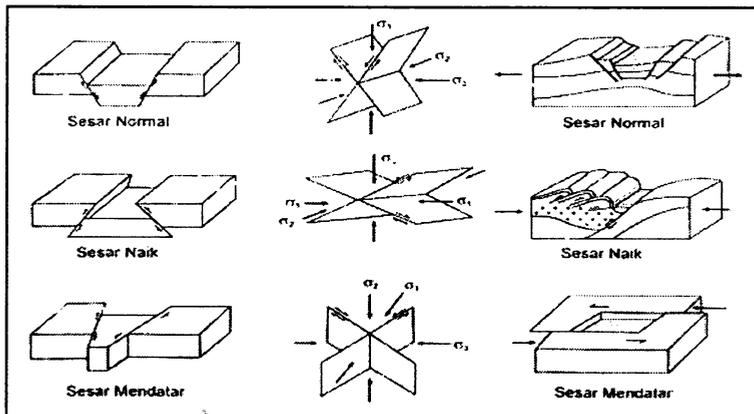


Gambar 3.10. Contoh Singkapan Batuan Metamorf Sekis

3.2 Struktur Geologi

Proses deformasi adalah perubahan bentuk dan ukuran pada batuan akibat dari gaya (*force*) yang terjadi di dalam bumi. Proses inilah yang mengakibatkan terjadinya struktur geologi baik berupa lipatan maupun sesar.

Sesar adalah rekahan atau zona rekahan pada batuan yang memperlihatkan pergeseran. Pergeseran pada sesar bisa terjadi sepanjang garis lurus (translasi) atau terputar (rotasi). Gejala sesar seringkali disertai dengan gejala struktur yang lain, antara lain kekar, breksi sesar dan milonit, struktur seretan (*drag fold*), cermin sesar (*slickensides*) dan gores-garis (*striation*). Gambaran jenis-jenis sesar secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.11 di bawah ini.



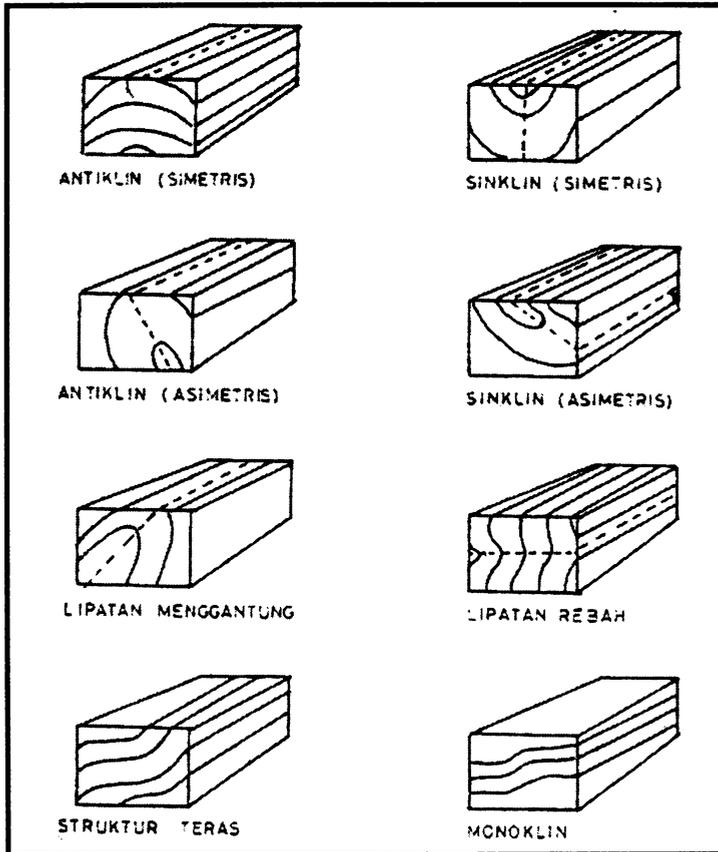
Gambar 3.11. Jenis-jenis Sesar

Lipatan adalah hasil perubahan bentuk atau volume dari suatu bahan yang ditunjukkan sebagai lengkungan atau kumpulan dari lengkungan pada unsur garis atau bidang didalam bahan tersebut.

Berdasarkan bentuknya lipatan terdiri atas (Gambar 3.12):

1. Antiklin adalah lipatan yang kemiringan bidang sayapnya menuju kearah yang berlawanan.
2. Sinklin adalah lipatan yang kemiringan bidang sayapnya menuju ke satu arah.

Adanya struktur geologi yang berkembang di suatu daerah akan membentuk bidang-bidang perlemahan dan pergerakan sehingga akan mempengaruhi kondisi kestabilan suatu daerah.



Gambar 3.12. Jenis-jenis Lipatan

4 Pekerjaan Tanah

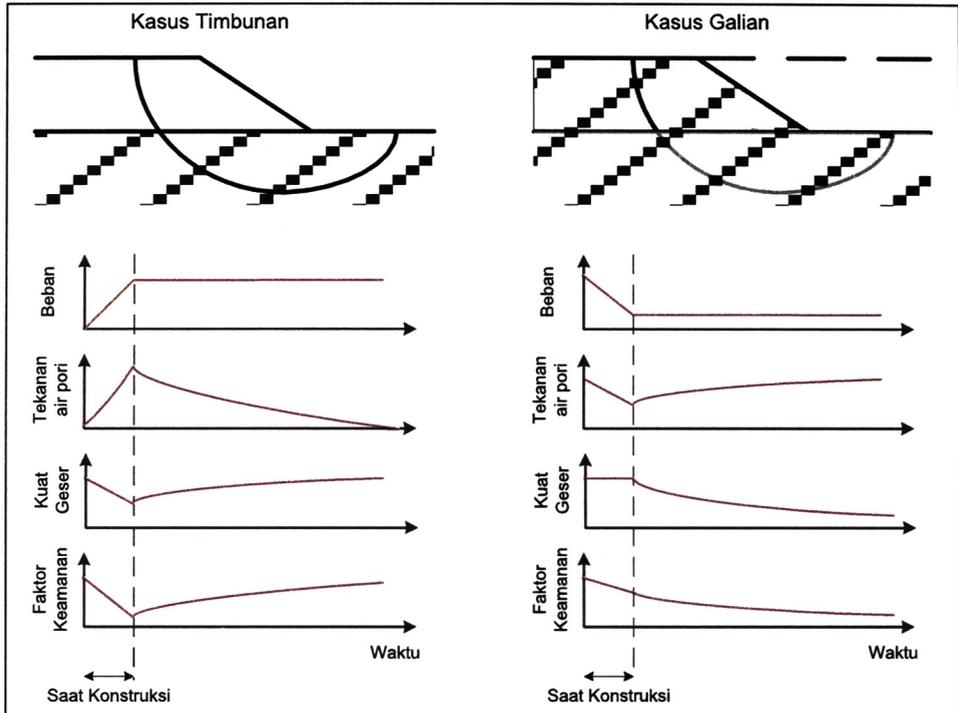
Pekerjaan tanah untuk keperluan konstruksi jalan meliputi penggalian, penimbunan dan penyiapan badan jalan.

4.1 Prinsip Dasar Perencanaan Galian dan Timbunan

Tanah atau batuan yang mengalami pemotongan ataupun sebagai fondasi timbunan mempunyai sifat yang kompleks dan tidak seragam. Pekerjaan tanah juga sangat dipengaruhi oleh karakter musiman dari cuaca, curah hujan, air rembesan dan sebagainya. Hal penting lainnya yang harus diperhatikan adalah masalah air, dimana tanah bersifat rentan terhadap erosi akibat aliran air dan tanah dapat mengalami penurunan kekuatan yang signifikan akibat infiltrasi air. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan dan tindakan yang tepat untuk mempertahankan stabilitas lereng dan untuk mengontrol penurunan timbunan agar jalan dapat memenuhi fungsinya selama masa layannya.

Dalam melakukan pekerjaan galian dan timbunan, yang harus diingat adalah kestabilan lereng galian akan menurun seiring berjalannya waktu sedangkan pada kasus timbunan kestabilan akan meningkat terhadap waktu. Oleh karena itu dalam kasus galian kondisi kritis terjadi beberapa saat setelah penggalian sedangkan pada kasus timbunan kondisi kritis adalah pada saat pelaksanaan penimbunan.

Kondisi kestabilan lereng galian dan timbunan tersebut di atas diperlihatkan secara skematis pada Gambar 4.1. Dalam kasus timbunan tekanan air pori akan meningkat akibat beban timbunan sampai saat konstruksi selesai dan setelah itu akan menurun terhadap waktu. Oleh karena itu faktor keamanan mencapai nilai terkecil saat penimbunan dan kemudian akan meningkat terhadap waktu. Sebaliknya pada kasus galian, tekanan air pori akan menurun akibat penggalian dan kemudian akan meningkat terhadap waktu. Sebagai akibatnya, faktor keamanan pada lereng galian akan menurun seiring berjalannya waktu.



Gambar 4.1 Kondisi Stabilitas untuk Timbunan dan Galian Lereng pada Tanah

4.2 Pekerjaan Lereng Galian

Pekerjaan penggalian untuk pembuatan lereng meliputi; penggalian kasar, pembentukan lereng dan penyelesaian permukaan lereng disertai dengan proteksi lereng.

4.2.1 Perencanaan

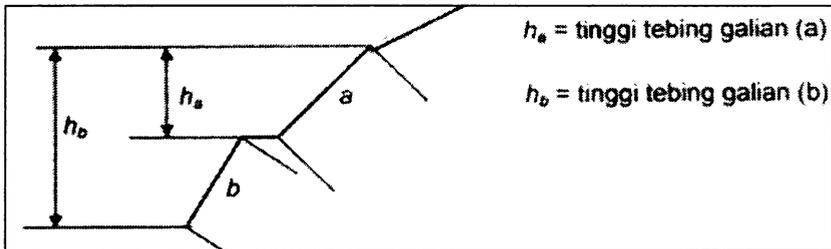
Dalam merencanakan lereng galian, maka yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Stabilitas lereng galian dan lereng alam yang dipengaruhi oleh kondisi tanah atau batuan, struktur geologi, kondisi air tanah, bentuk lereng, kemiringan dan curah hujan.
- Faktor kesulitan saat pelaksanaan penggalian.
- Perubahan muka air tanah akibat penggalian.
- Sifat-sifat tanah sebagai material timbunan.

4.2.2 Penampang melintang

4.2.2.1 Kemiringan lereng

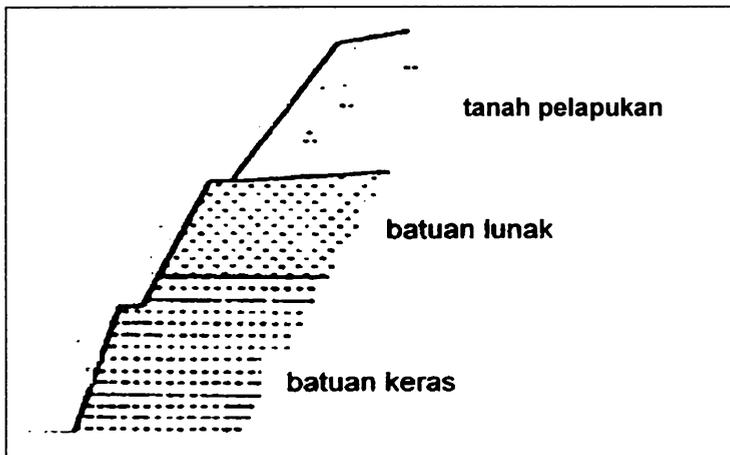
Permukaan tanah asli biasanya sulit untuk dipahami karena sifatnya yang tidak seragam dan lereng galian cenderung berangsur-angsur menjadi tidak stabil setelah pekerjaan selesai. Oleh karena itu evaluasi stabilitas lereng galian sangat penting untuk dilakukan.



Gambar 4.2 Kemiringan dan Tinggi Lereng Galian

4.2.2.2 Bentuk lereng

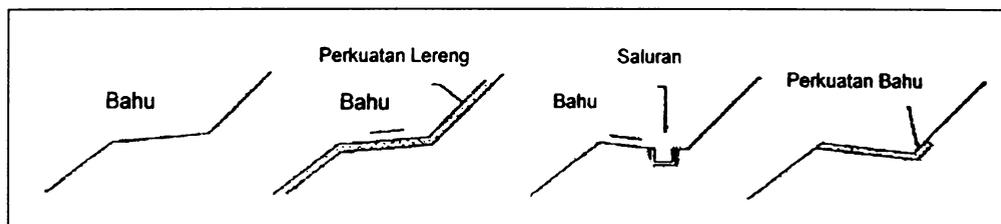
Kemiringan lereng sangat bervariasi tergantung pada jenis tanah dan batuan. Kemiringan lereng tunggal biasanya digunakan apabila kondisi geologi dan tanahnya hampir sama pada arah kedalaman, baik arah melintang maupun arah memanjang.



Gambar 4.3 Kondisi Tanah dan Bentuk Kemiringan Lereng

4.2.2.3 Bahu

Bahu biasanya dibuat pada lereng yang cukup tinggi. Bahu harus didesain dengan memperhatikan berbagai kondisi yakni kesulitan inspeksi dan perbaikan, kemiringan lereng, tinggi galian, jenis tanah dan lainnya.



Gambar 4.4 Kemiringan Penanpang Melintang Bahu

4.2.2.4 Analisis Lereng Galian

Analisis kestabilan lereng diperlukan terutama pada lereng galian yang berpotensi untuk longsor, atau pada pekerjaan perbaikan lereng yang telah mengalami longsor

4.2.3 Galian yang Memerlukan Perhatian Khusus

4.2.3.1 Galian pada Deposit Koluviyal dengan Tingkat Pelapukan Tinggi

Pada talus kerucut lereng yang melapuk, bekas aliran lumpur vulkanik atau daerah longoran lainnya, keruntuhan lereng terjadi karena penurunan kekuatan akibat hujan atau gempa. Apabila suatu lereng mengalami penggalian dengan kemiringan lebih curam dari kemiringan lereng alamnya, maka lereng galian tersebut akan menjadi tidak stabil. Salah satu penanganan yang dapat dipertimbangkan adalah dengan membuat trap didekat permukaan batuan dasar. Kemiringan lereng pada deposit koluviyal yang tingkat pelapukan tinggi, maka dibuat kemiringan yang landai.

4.2.3.2 Galian Pada Permukaan Tanah yang Mudah Erosi

Sedimen yang komponen utamanya terdiri dari jenis tanah pasiran akan mudah tereosi oleh aliran air permukaan sehingga menyebabkan runtuhannya batuan, longoran dangkal atau aliran tanah. Penanganan erosi yang diakibatkan oleh air pada dasarnya lebih

mudah ditangani dengan drainase atau proteksi lereng dari pada mengubah kemiringan lereng.

4.2.3.3 Galian pada Batuan yang Cepat Lapuk

Batu lumpur yang berumur tersier, seperti tuf dengan tingkat kepadatan yang rendah atau serpentinit dapat berubah sifat menjadi sedimen berbutir (non kohesif) sehingga kuat gesernya menurun secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan adanya pelepasan tegangan akibat penggalian atau batuan yang mengalami pengulangan kondisi basah dan kering setelah penggalian.

Penanganan yang dapat dipertimbangkan adalah :

- a) Kemiringan lereng harus dibuat stabil untuk masa jangka panjang agar walaupun proses pelapukan berjalan terus
- b) Pengamanan lereng harus dilakukan dengan menutupi permukaan batuan untuk mengurangi lajunya pelapukan.

Batu lempung yang cepat lapuk karena terekspose sering mengalami longsoran atau runtuh seperti diperlihatkan pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Longsoran Lereng Alam pada Serpih Lapuk

4.2.3.4 Galian pada Batuan yang Banyak Rekahan

Pada batuan dasar sering memiliki bidang lemah, seperti :

- a) Retakan pada zona patahan akibat gerakan tektonik. Kasus ini sering dijumpai pada formasi mesozoik dan paleozoik (schist, gneiss, chert, batu sabak dan serpentinit).
- b) Kekar (joint berbentuk kolom atau pelat yang terbentuk karena pengkerutan selama terjadinya pendinginan. Sering terjadi pada jenis batuan basal, andesit, rhyolite dan granit.

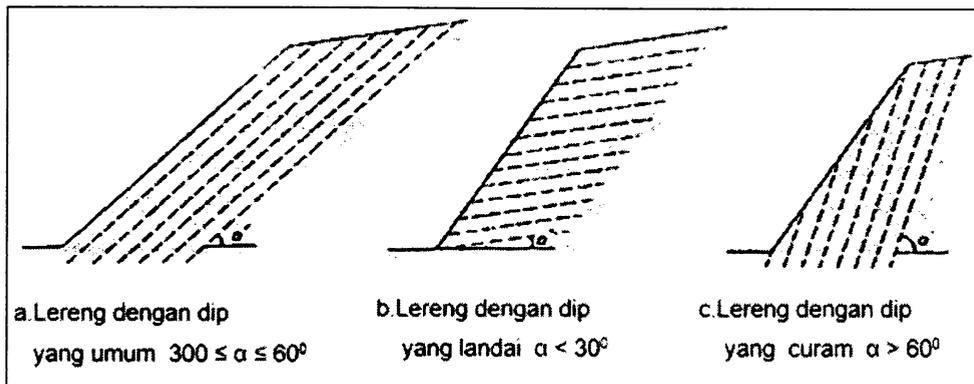


Gambar 4.6 Runtuhan pada Lereng Batu Pasir

4.2.3.5 Galian pada Struktur Lereng dengan Dip dan dan Mempunyai Rekahan

Keruntuhan lereng akan terjadi apabila:

- a) Lereng memiliki struktur kemiringan lapisan
- b) Terdapat rekahan yang berkembang yang teratur pada arah tertentu seperti stratifikasi bedding pada batuan sedimen, kekar seperti kolom dan pelat yang terbentuk pada schist, gneiss atau batuan igneous.
- c) Keruntuhan akan terjadi apabila arah kemiringan rekahan bersesuaian dengan arah kemiringan permukaan lereng galian.



Gambar 4.7 Hubungan Antara Dip dengan Kemiringan Lereng

4.2.3.6 Galian pada lereng dengan muka air tanah tinggi

Lereng galian cenderung menjadi tidak stabil dan kemiringan lereng harus lebih landai apabila penggalian dilakukan pada tempat yang banyak terdapat mata air atau muka air tanah relatif tinggi. Pada kasus ini kajian drainase lebih diprioritaskan dari pada kajian kemiringan lereng.

4.2.4 Pelaksanaan lereng galian

Prosedur pelaksanaan lereng galian adalah dimulai dari penggalian kasar diikuti dengan pembentukan dan penyelesaian permukaan lereng. Serta dilanjutkan dengan pelaksanaan pekerjaan proteksi lereng.

4.2.5 Kesalahan-kesalahan Umum

Untuk menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan yang umum terjadi dalam pelaksanaan penggalian lereng, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a) Diperlukan pemeriksaan kondisi tanah setempat pada saat penggalian terutama untuk kemiringan dan tinggi penggalian serta bentuk lereng yang harus sesuai dengan gambar desain. Jika suatu perubahan diperlukan, maka pengukuran harus dilakukan dengan tepat.
- b) Patok-patok dengan jumlah yang sesuai harus ditempatkan pada daerah galian agar garis penggalian sesuai dengan yang telah direncanakan.

- c) Pada lereng galian dimana dinding penahan sebelumnya telah direncanakan, kemiringan lereng galian seing kali menjadi lebih curam dari lereng standar. Hal ini sangat rawan akan terjadinya keruntuhan saat penyelesaian penggalian sebelum dinding penahan tanah dibangun, sehingga manajemen harus dilakukan dengan tepat terutama pada saat penggalian dan pekerjaan dinding penahan tanah.
- d) Jika ditemukan mata air atau air rembesan pada permukaan lereng, maka diperlukan tindakan pencegahan, seperti pembuatan lubang buangan dan parit drainase bawah permukaan harus dilakukan.
- e) Dalam pembuatan parit drainase pada bagian atas lereng dan bahu, harus berhati-hati agar permukaan lereng tidak terkikis oleh aliran air atau hanyutan partikel halus dan kerikil.
- f) Patahan minor yang ditemukan pada saat pelaksanaan harus diperiksa terutama ukurannya arah, derajat retakan dan lainnya.terhadap menyebabkan keruntuhan baik skala kecil maupun skala besar

4.3 Pekerjaan Timbunan

Pekerjaan timbunan meliputi penimbunan untuk badan jalan serta melakukan pemadatan tanah. Material timbunan yang digunakan dari bahan hasil galian setempat atau dapat didatangkan dari tempat lain (*borrow pit*).

Material timbunan harus dipilih yang dapat memenuhi persyaratan, sehingga

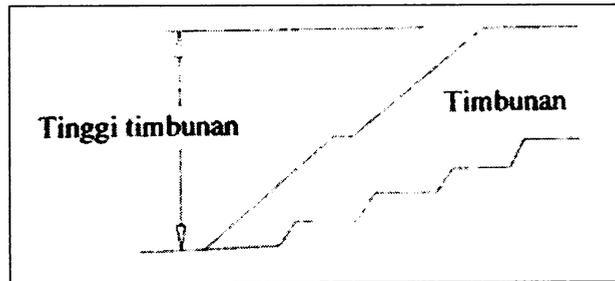
- a) Harus mempunyai kemampuan untuk menyebarkan beban lalu lintas yang berulang tanpa terjadi deformasi atau penurunan yang berarti.
- b) Harus mempunyai stabilitas yang cukup terhadap faktor perusak seperti air hujan, air rembesan dan gempa.
- c) Mudah dikerjakan

Masalah yang perlu diperhatikan pada pelaksanaan penimbunan meliputi pelaksanaan stabilisasi, penimbunan dengan menggunakan material batuan dan tanah vulkanik kohesif, penimbunan gorong-gorong melintang jalan, serta deformasi tanah disekelilingnya, kelancaran lalu lintas kendaraan proyek, kondisi lingkungan dan tindakan pencegahan bencana bila terjadi.

4.3.1 Penampang Melintang Timbunan

Timbunan harus didesain dengan mempertimbangkan kondisi lapangan (kondisi tanah fondasi, material timbunan dan kondisi cuaca, dan lainnya), kestabilan timbunan serta metode pelaksanaan. Jika diperlukan lereng timbunan dapat dibuat bahu yang berfungsi sebagai :

- a) Injakan untuk pemeliharaan dan perbaikan dan dapat juga digunakan untuk menempatkan fondasi struktur proteksi lereng.
- b) Memperlambat kecepatan air hujan yang mengalir dipermukaan dan mencegah erosi selama dan setelah pekerjaan selesai.
- c) Untuk menempatkan saluran drainase.



Gambar 4.8 Penampang Lereng Timbunan

4.3.2 Material Timbunan

Material timbunan dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga Divisi 3 Pekerjaan Tanah. Material timbunan juga harus merupakan tanah yang mudah dikerjakan, dan memiliki sifat-sifat seperti kuat geser yang tinggi, kompresibilitas yang rendah.

Akan tetapi dengan pertimbangan ekonomis, tidaklah mungkin memilih dan menggunakan material yang berkualitas baik, sehingga material yang tersedia yang kurang ideal dapat dimanfaatkannya dengan suatu keahlian tertentu menerapkan metode stabilisasi tanah.

4.3.3 Timbunan yang Memerlukan Perhatian Khusus

4.3.3.1 Timbunan di atas tanah yang miring

Timbunan di atas permukaan tanah yang miring dapat terjadi misalnya pada kasus pengurangan lembah atau pada setengah galian dan setengah timbunan. Pada batas antara galian dan timbunan, air yang berasal dari sumber air sering merembes ke dalam timbunan sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng timbunan. Dalam kejadian seperti ini disarankan untuk memasang drainase bawah permukaan untuk mengurangi tekanan air pada timbunan.



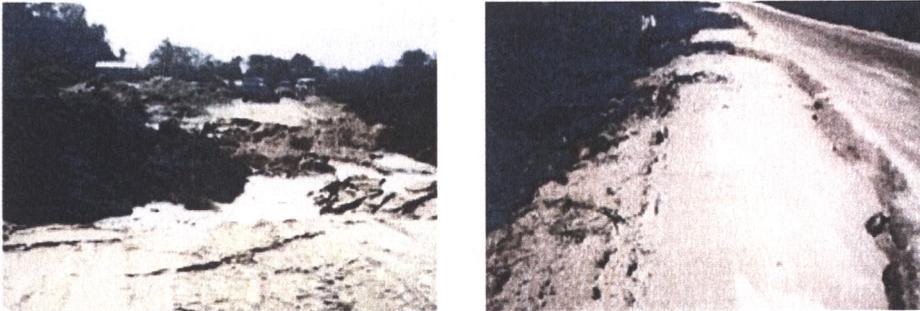
Gambar 4.9 Mode Keruntuhan Badan Jalan di Atas Tanah yang Miring

Timbunan yang dibangun di atas permukaan tanah yang miring serta mempunyai lapisan tanah lunak biasanya rawan terhadap keruntuhan. Pada bagian permukaan tanah seringkali memiliki kuat geser yang rendah akibat pelapukan. Oleh karena itu tanah dasar yang lunak sebaiknya digali sedalam mungkin dan dibuat trap (bertangga)

4.3.3.2 Timbunan di atas tanah lunak

Timbunan yang dibangun di atas tanah lunak akan menghadapi masalah stabilitas dan penurunan yang besar. Hal ini disebabkan tanah lunak mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi.

Untuk mengatasi permasalahan tanah lunak, maka dapat dilakukan perbaikan tanah lunak terlebih dahulu sebelum dilakukan peninbunan. Adapun beberapa metode perbaikan tanah lunak diantaranya adalah: penggantian material (*replacement*), berem pratibobot (*counterweight berms*), pembebanan tambahan (*surchanging*), konstruksi bertahap (*staged construction*), penggunaan material ringan (*light material*), penyalir tegak (*vertical drain*), matras dan fondasi tiang (*pile foundation*).



Gambar 4.10 Mode Keruntuhan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak

4.3.3.3 Timbunan dengan Tanah Kepasiran yang Rawan Terhadap Erosi Air Hujan

Karena tanah kepasiran mempunyai sifat daya serap air yang besar dan nutrisari yang kurang baik, maka diperlukan proteksi permukaan lereng dengan tanah penutup atau lainnya. Oleh karena itu fasilitas yang berfungsi sebagai drainase sangat diperlukan untuk mencegah erosi lereng akibat hujan selama pekerjaan berlangsung. Secara umum selama pekerjaan timbunan disarankan agar bagian tengah timbunan lebih tinggi untuk menghasilkan suatu kemiringan yang berfungsi mengalirkan air di permukaan timbunan ke bawah lereng.

4.3.3.4 Timbunan pada Bagian Oprit Struktur

Badan jalan yang berfungsi sebagai penghubung antar struktur seperti pangkal jembatan dan timbunan jalan, cenderung terjadi ketidakrataan akibat penurunan timbunan yang berbeda. Ketidakrataan ini sering terjadi antara timbunan oprit dan struktur jembatan yang dibangun di atas tanah lunak.

Penurunan struktur ditahan oleh fondasi jembatan sedangkan penurunan timbunan oprit dapat terjadi oleh deformasi timbunan itu sendiri atau konsolidasi tanah lunak yang ada di bawahnya. Selain perbedaan penurunan juga perlu diperhatikan bahwa timbunan sering menimbulkan tekanan tanah aktif yang dapat mendorong pada pangkal jembatan.



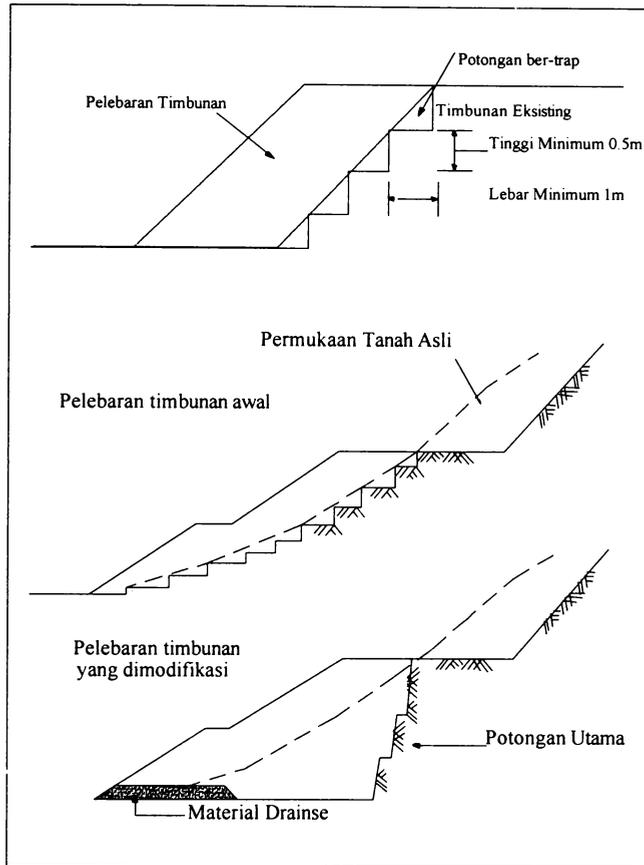
Gambar 4.11 Kerusakan Oprit Jembatan

4.3.3.5 Penurunan Akibat Kompresi Material Timbunan

Timbunan yang dibangun yang dibangun dengan material tanah lempung vulkanik atau lanau, maka keruntuhan timbunan dapat terjadi karena tingginya tekanan air pori yang timbul selama pelaksanaan. Pada kasus semacam ini diperlukan metode penimbunan secara bertahap dengan pengamatan tekanan air pori.

4.3.3.6 Pelebaran Timbunan

Bila diperlukan untuk melakukan pelebaran jalan yang ada dengan membuat timbunan tambahan di sampingnya, maka konstruksi timbunan sebaiknya dibuat dengan sistem bertangga (ber-trap). Konstruksi timbunan sistem bertangga ditunjukkan seperti Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Timbunan Sistem Bertangga

4.3.4 Pelaksanaan Lereng Timbunan

Dalam pelaksanaan pembuatan lereng timbunan harus sesuai dengan metode yang yang didasarkan dengan kondisi lapangan.

4.3.5 Kesalahan-kesalahan Umum

Untuk menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan yang umum terjadi dalam pekerjaan penimbunan, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- a) Daerah lereng harus dipadatkan sepenuhnya untuk menghindari erosi lereng

- b) Patok-patok terakhir harus digunakan untuk menghindari penampang melintang yang tidak sesuai karena penurunan timbunan ataupun karena alasan lain. Patok-patok tersebut harus dipindahkan setelah pekerjaan timbunan selesai.
- c) Pekerjaan proteksi lereng harus dilaksanakan secara tepat.
- d) Aliran air hujan yang terkonsentrasi dari bagian atas timbunan ke permukaan lereng harus dicegah.
- e) Pembuatan parit drainase yang ditempatkan pada permukaan lereng dan bahu harus secara hati-hati agar permukaan lereng tidak terkikis oleh aliran air.

4.3.6 Pemadatan timbunan

Pemadatan merupakan proses mampatnya partikel tanah dengan menggunakan energi mekanis sehingga dapat meningkatkan kekuatan. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara berat isi tanah dan kadar airnya.

Secara umum tujuan dari pemadatan adalah

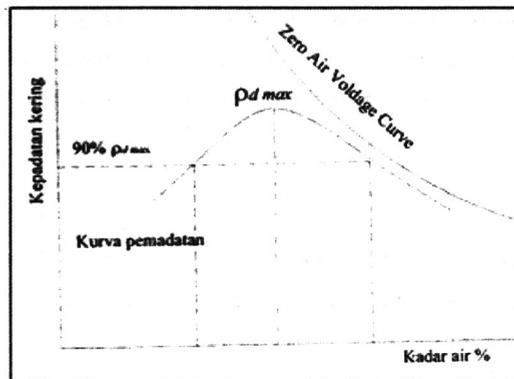
- ◆ Mencegah atau mengurangi penurunan (pemampatan)
- ◆ Menaikan kuat geser tanah
- ◆ Meningkatkan daya dukung tanah
- ◆ Mengontrol perubahan volume
- ◆ Meningkatkan ketahanan erosi
- ◆ Mengurangi potensi likuifaksi

Ketika tanah dipadatkan dengan menggunakan alat mesin gilas atau penumbuk, maka tanah akan mengalami perubahan susunan saat dikompresi. Partikel yang kecil akan mengisi rongga antara partikel-partikel besar. Variasi keadaan tanah yang dipadatkan tidak hanya tergantung pada jenis tanah dan kadar airnya namun juga dipengaruhi oleh metode pemadatan dan energi yang diberikan.

Tanah yang dipadatkan mencapai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum, secara definisi memiliki angka pori terkecil dan dalam kondisi paling padat, ini berarti bahwa tanah setelah dipadatkan akan sulit untuk berubah akibat rembesar air karena rongga tekecil sukar menyerap air.

Tanah yang dipadatkan mempunyai kekuatan tanah yang meningkat tergantung dari jenis tanah dan kadar airnya. Umumnya kekuatan maksimum, ketahanan terhadap deformasi,

kompresibilitas minimum dicapai pada kadar air yang lebih rendah dari optimumnya. Hal ini khususnya terlihat pada tanah berbutir halus yang sifat dasarnya dipengaruhi oleh tingkat kadar airnya.



Gambar 4.13 Kurva Hasil Pemadatan di Laboratorium

4.4 Penyiapan Badan Jalan

4.4.1 Umum

Pekerjaan ini mencakup penyiapan, penggaruan dan pemadatan lapisan tanah dasar atau lapisan jalan kerikil lama, untuk penghamparan Lapis Fondasi Agregat, Lapis Fondasi Jalan Tanpa Penutup Aspal, Lapis Fondasi Semen Tanah atau Lapis Fondasi Beraspal di daerah jalur lalu lintas (termasuk jalur tempat perhentian dan persimpangan) yang tidak ditetapkan sebagai Pekerjaan Pengembalian Kondisi.

Untuk jalan kerikil, pekerjaan dapat juga mencakup perataan dengan motor grader untuk perbaikan bentuk dengan atau tanpa penggaruan dan tanpa penambahan bahan baru.

Pekerjaan ini termasuk galian atau penggaruan serta pekerjaan timbunan yang diikuti dengan pembentukan, pemadatan, pengujian kepadatan, pengujian bahan tanah atau bahan berbutir dan pemeliharaan permukaan yang disiapkan sampai bahan perkerasan dihampar di atasnya. Selain itu, pekerjaan ini termasuk pekerjaan Stabilisasi Kapur dan Semen.

4.4.2 Bahan

Tanah dasar dapat dibentuk dari Timbunan Biasa, Timbunan Pilihan, atau tanah asli di daerah galian. Bahan yang digunakan harus sesuai dengan yang diperintahkan Direksi Teknis, dan memenuhi sifat-sifat bahan yang dihampar seperti yang disyaratkan dalam Spesifikasi untuk bahan tersebut. Lapisan yang tidak memenuhi syarat harus dibongkar setebal 20 cm dan selanjutnya tanah bongkaran dikembalikan atau diganti dengan material yang baik lalu dipadatkan 100% dari kepadatan kering maksimum.

4.4.3 Kesiapan Kerja

a) Pengajuan Kesiapan Kerja

1. Pengajuan yang berhubungan dengan Galian dan Timbunan, harus dibuat masing-masing untuk seluruh Galian dan Timbunan yang dilaksanakan untuk Penyiapan Badan Jalan.
2. Hasil pengujian yang telah dilakukan sebelum penghamparan material lain di atas tanah dasar perkerasan yang terdiri dari :
 - Hasil pengujian kepadatan seperti yang disyaratkan
 - Hasil pengujian pengukuran kerataan permukaan dan data survei yang menunjukkan bahwa toleransi permukaan dan ketebalan yang disyaratkan dipenuhi

b) Metode Kerja

1. Gorong-gorong, tembok kepala dan struktur lainnya di bawah elevasi tanah dasar atau permukaan jalan, termasuk pemadatan penimbunan kembali (*back fill*), harus telah selesai sebelum dimulainya pekerjaan persiapan tanah dasar. Seluruh pekerjaan drainase harus berfungsi sehingga tanah dasar selalu dalam kondisi kering dan kerusakan tanah dasar oleh aliran air permukaan dapat dicegah.
2. Bilamana permukaan tanah dasar disiapkan terlalu dini tanpa segera diikuti oleh penghamparan lapis fondasi bawah, maka permukaan tanah dasar dapat menjadi rusak. Oleh karena itu, luas pekerjaan persiapan tanah dasar yang tidak dapat dilindungi pada setiap saat harus dibatasi sedemikian rupa sehingga daerah tersebut yang masih dapat dipelihara dengan peralatan yang tersedia.

c) Kondisi Tempat Kerja

Kondisi tempat kerja, masing-masing untuk Galian dan Timbunan, juga berlaku untuk pekerjaan Penyiapan Badan Jalan.

4.4.4 Pelaksanaan Penyiapan tanah dasar

- a) Pekerjaan galian yang diperlukan untuk membentuk tanah dasar harus dilaksanakan sesuai dengan Divisi 3 Pekerjaan Tanah Seksi 3.1 Galian
- b) Seluruh Timbunan yang diperlukan harus dihampar sesuai dengan Divisi 3 Pekerjaan Tanah Seksi 3.2 Timbunan
- c) Penyiapan tanah dasar pada timbunan berlaku ketentuan dari Divisi 3 Pekerjaan Tanah Seksi 3.3 Penyiapan Tanah Dasar

4.4.5 Pengendalian Mutu

- a) Penerimaan Bahan

Bahan untuk dasar perkerasan sebelum diangkut ke lapangan di tempat sumbernya harus di uji kelayakannya sebagai material tanah dasar perkerasan. Setiap sumber bahan paling sedikit harus dilakukan satu pengujian untuk menentukan bahan tanah dasar memenuhi ketentuan seperti yang disyaratkan dalam Divisi 3 Pekerjaan Tanah Seksi 3.2 Timbunan

- b) Pengujian Mutu Bahan

Bahan timbunan harus dilakukan pengujian berupa :

- Analisis Saringan sesuai SNI 03-1968-1990
- Hidrometer sesuai SNI 03-3423-1994
- Kepadatan Ringan sesuai SNI 03-1742-1989
- Kepadatan Berat sesuai SNI 03-1744-1989
- CBR Laboratorium sesuai SNI 03-1744-1989
- Atterberg Limit sesuai SNI 03-1966-1990 dan SNI 03-1967-1990

Rincian pengujian tersebut di atas selengkapnya dapat dilihat pada Buku II.

4.5 Pekerjaan Tanah yang Termuat Dalam Spesifikasi Umum

Pekerjaan tanah yang tercakup dalam Spesifikasi Umum Divisi 3, meliputi; galian, timbunan dan penyiapan badan jalan yang mencakup mengenai definisi, persyaratan bahan, persyaratan kepadatan serta jenis pengujian yang diperlukan.

4.5.1 Pekerjaan Galian

Pekerjaan galian dapat digolongkan sebagai berikut:

4.5.1.1 Galian biasa

Galian biasa didefinisikan sebagai galian di luar galian batu, galian struktur, galian sumber bahan dan galian perkerasan beraspal. Dilihat dari segi pelaksanaannya, maka galian biasa didefinisikan sebagai galian yang dapat dilakukan dengan penggaru tunggal yang ditarik oleh traktor dengan berat maksimum 15 ton dan tenaga kuda netto maksimum sebesar 180 PK.

Galian biasa dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Galian biasa untuk bahan timbunan. Klasifikasi material dan jenis pengujian untuk galian biasa ini mempunyai persyaratan yang sama dengan bahan timbunan.
- b. Galian biasa sebagai material buangan. Suatu material disebut sebagai material buangan apabila tidak memenuhi persyaratan sebagai bahan timbunan.

4.5.1.2 Galian Batu

Galian batu mencakup galian bongkahan batu dengan volume lebih dari 1,0 meter kubik dan galian tersebut tidak praktis dilakukan tanpa menggunakan alat pemecah bertekanan udara, pemboran ataupun peledakan.

Galian batu dibagi menjadi 2 bagian;

- a. Galian batu tanpa menggunakan alat bahan peledak.
- b. Galian batu dengan menggunakan bahan peledak.

4.5.1.3 Galian Struktur

Galian struktur mencakup galian lantai fondasi jembatan, tembok penahan tanah dan struktur pemikul beban lainnya.

4.5.1.4 Galian Perkerasan Beraspal

Galian perkerasan beraspal mencakup galian pada perkerasan lama termasuk agregat base atau jalan beton.

Tabel 4.1 Persyaratan Galian Biasa Untuk Timbunan dan Pengujian yang Diperlukan

No	Persyaratan	Penjelasan	Jenis pengujian
1	Jenis tanah OL, OH dan Pt tidak boleh digunakan	<p>OL = lanau atau lempung organik dengan nilai batas cair (LL) < 50%</p> <p>OH = lanau atau lempung organik dengan nilai batas cair (LL) ≥ 50%</p> <p>Tanah organik mempunyai batasan :</p> <p>LL di oven kering ----- < 0,75</p> <p>LL tidak di oven kering</p> <p>LL = nilai batas cair</p> <p>Pt = tanah gambut</p>	<p>1. Tata Cara Pengklasifikasian Cara unifikasi (SNI 03-6371-2000).</p> <p>2. Pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer (SNI 03-3423-1994).</p> <p>3. Pengujian batas cair dengan alat Casagrande (SNI 03-1967-1989).</p> <p>4. Pengujian batas plastis (SNI 03-1967-1990)</p> <p>5. Pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (SNI 03-1968-1990).</p>
2	Jenis tanah GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC dapat digunakan	<p>GW = kerikil bergradasi baik</p> <p>GP = kerikil bergradasi jelek</p> <p>GM = kerikil lanauan</p> <p>GC = kerikil lempungan</p> <p>SW = pasir bergradasi baik</p> <p>SP = pasir bergradasi jelek</p> <p>SM = pasir lanauan</p> <p>SC = pasir lempungan</p>	
3	Jenis tanah CH, MH dapat digunakan	<p>CH = lempung gemuk</p> <p>MH = lanau elastis</p>	
4	CH = lempung gemuk MH = lanau elastis Jenis tanah CH dan MH tidak boleh	<p>CH = lempung gemuk</p> <p>MH = lanau elastis</p>	<p>Pengujian standar sama dengan di atas ditambah :</p> <p>♦ Pengujian kepadatan ringan (SNI 03-1742-1989).</p>

No	Persyaratan	Penjelasan	Jenis pengujian
	ditempatkan pada 30 cm di bawah perkerasan sebagai subgrade, kecuali mempunyai CBR \geq 6% setelah perendaman 4 hari dipadatkan mencapai 100 % kepadatan kering maksimum (MDD)		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Metode koreksi Pengujian pemadatan tanah yang mengandung butiran kasar (SNI 03-1976-1990). ◆ Pengujian kepadatan dengan dengan kerucut pasir (SNI 03-2828-1992).

4.5.2 Pekerjaan Timbunan

Pekerjaan timbunan dapat digolongkan sebagai berikut:

4.5.2.1 Timbunan Biasa

Timbunan biasa diklasifikasikan sebagai tanah atau bahan galian batu dengan persyaratan tertentu. Persyaratan bahan timbunan serta pemadatanannya untuk timbunan biasa dapat dilihat pada Tabel 4.2.

4.5.2.2 Timbunan Pilihan

Timbunan pilihan digunakan sebagai lapis penopang (*capping layer*) untuk menambah daya dukung tanah dasar, di daerah saluran air pada kondisi pemadatan tanah jenuh air atau banjir yang tidak dapat dihindari, pada lereng atau stabilisasi timbunan serta pekerjaan lainnya yang membutuhkan kuat geser relatif besar.

Timbunan pilihan terdiri dari bahan tanah atau berbatu yang memenuhi syarat timbunan biasa dan memenuhi persyaratan lainnya seperti nilai CBR dan kepadatannya. Bahan timbunan pilihan untuk pekerjaan pemadatan tanah dalam kondisi jenuh air atau banjir harus termasuk tanah berbutir seperti pasir atau kerikil atau tanah lainnya yang mempunyai ukuran butirnya lebih besar.

4.5.2.3 Timbunan Pilihan di Atas Rawa

Timbunan pilihan di atas rawa digunakan untuk melintasi daerah rendah yang selalu tergenang air dan tidak dapat dialirkan atau dikeringkan. Daerah rawa bukan merupakan tanah gambut atau tanah yang mengandung kadar organik sangat tinggi (lebih dari 75%). Timbunan pilihan di atas rawa dapat menggunakan pasir atau tanah berbutir lainnya seperti batu pilihan.

4.5.2.4 Timbunan Pilihan di Atas Tanah Rawa Gambut

- a. Tanah rawa gambut dengan ketebalan < 2 meter. Bahan timbunan pada gambut yang tipis adalah sama dengan ketentuan timbunan pilihan di atas rawa biasa, ditambah dengan pemasangan lapis separator seperti geotekstil.
- b. Tanah rawa gambut dengan ketebalan 2 sampai 4 meter. Pelaksanaan timbunan pada ketebalan gambut sedang, sama seperti pada gambut tipis, tetap terlebih dahulu harus dilakukan penimbunan dengan menggunakan bahan granular.
- c. Tanah rawa dengan ketebalan \geq 4 meter. Pelaksanaan timbunan pada ketebalan gambut yang tebal diperlukan konstruksi penambah daya dukung tanah sesuai kriteria beban dan penurunan, selanjutnya ditimbun seperti halnya gambut tipis.

Tabel 4.2 Persyaratan Bahan dan Kepadatan Timbunan Biasa

No	Persyaratan	Penjelasan	Jenis pengujian
1	Memenuhi persyaratan galian biasa untuk bahan timbunan	Lihat Tabel 4.1	Lihat Tabel 4.1
2	Sebaiknya tidak termasuk tanah berplastisitas tinggi (Kelompok A-7-6)	Tanah kelompok A-7-6 adalah <ul style="list-style-type: none">• Jenis tanah kelempungan berplastis tinggi dengan tingkatan sedang sampai jelek.• Lolos ayakan N0 200 > 36%• Batas Cair LL > 41%	1. Tata Cara Klasifikasi Tanah dan Campur Agregat Untuk Konstruksi jalan (SNI 03-6797-2002). 2. Pengujian analisis ukuran butir

No	Persyaratan	Penjelasan	Jenis pengujian
		<ul style="list-style-type: none"> Indeks plastisitas PI > LL-30 	<p>tanah dengan alat hidrometer (SNI 03-3423-1994).</p> <p>3. Pengujian batas cair dengan alat Casagrande (SNI 03-1967-1989).</p> <p>4. Pengujian batas plastis (SNI 03-1966-1990)</p> <p>5 Pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (SNI 03-1968-1990).</p> <p>6. Pengujian kepadatan ringan (SNI 03-1742-1989)</p> <p>7. Pengujian kepadatan lapangan dengan konus pasir (SNI 03-2828-1992)</p>
3	<p>Bila penggunaan tanah berplastis tinggi (A-7-6) tidak dapat dihindari, maka;</p> <ul style="list-style-type: none"> Tidak boleh digunakan pada 30 cm lapisan langsung di bagian dasar perkerasan, atau bahu jalan. Hanya digunakan pada bagian dasar tanah timbunan atau penimbunan kembali yang tidak memerlukan daya dukung atau kuat geser yang tinggi. Nilai CBR $\geq 6\%$ (4 hari rendaman, kepadatan 100 % (MDD)) 	<p>CBR adalah California Bearing Ratio</p>	
4.	<p>Tanah ekspansif dengan nilai aktif $A_c > 1,25$ tidak boleh digunakan untuk bahan timbunan</p>	<p>Nilai aktif adalah :</p> $A_c = (PI) / (C - 10)$ <p>C = kadar lempung</p>	
5	<p>Syarat kepadatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> Kepadatan lapisan pada kedalaman ≤ 30 cm di bawah elevasi perkerasan kepadatan mencapai 100% MDD Kepadatan lapisan pada 		

No	Persyaratan	Penjelasan	Jenis pengujian
	kedalaman > 30 cm di bawah elevasi perkerasan kepadatan mencapai 95% MDD		

5 Pengujian Tanah Di Laboratorium

Macam pengujian yang akan diterangkan dalam buku ini adalah pengujian-pengujian yang berhubungan dengan persyaratan mutu bahan galian dan bahan timbunan.

5.1 Sifat Umum Tanah

5.1.1 Pendahuluan

Istilah "tanah" dalam bidang mekanika tanah dimaksudkan untuk mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (batu-batu yang besar). Secara umum, tanah terdiri dari tiga unsur yaitu, butiran tanahnya sendiri, air serta udara yang terdapat dalam ruangan (pori/void) antara butiran-butir tersebut. Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Keadaan semacam ini jarang ditemukan pada tanah yang masih dalam keadaan asli dilapangan. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud tersebut, misalnya dengan memanaskan di dalam oven.

Sebaliknya kita sering menemukan keadaan dimana pori tanah tidak mengandung udara sama sekali; jadi pori tersebut menjadi penuh terisi air. Dalam hal ini tanah dikatakan jenuh air (*fully saturated*). Tanah yang terendam air hampir selalu dalam keadaan jenuh air. Teori-teori yang selalu kita gunakan dalam bidang mekanika tanah ini sebagian besar dimaksudkan untuk tanah yang jenuh air. Teori konsolidasi misalnya serta teori kekuatan geser tanah tergantung pada anggapan bahwa pori tanah hanya mengandung air, dan sama sekali tidak mengandung udara.

Di Indonesia terdapat tanah yang tidak jenuh air sehingga perlu kita sadari bahwa pemakaian teori-teori tadi untuk tanah semacam ini sebenarnya agak kurang tepat. Walaupun demikian, jumlah udara yang terdapat pada tanah yang tidak jenuh air, biasanya sangat sedikit sehingga untuk keperluan soal-soal praktis masih dianggap sebagai tanah yang jenuh air.

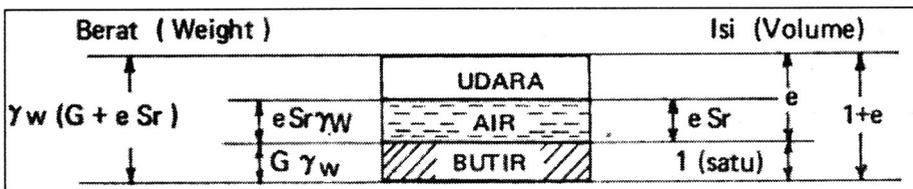
5.1.2 Definisi Serta Hubungan Antara Jumlah Butir, Air dan Udara dalam Tanah

Definisi serta istilah-istilah yang dipakai untuk menyatakan berat isi, banyaknya pori, serta jumlah air dan udara dalam tanah adalah sebagai berikut (Tabel 5.1).

Tabel 5.1. Definisi dan Istilah

Sifat	Bahasa Inggris	Simbol	Definisi
Berat isi tanah	<i>Unit weight</i>	γ	Perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan isi tanah seluruhnya.
Berat isi Butir	<i>Unit weight of Particles</i>	γ_s	Perbandingan antara berat butir dengan isi butir.
Berat isi air	<i>Unit weight of Water</i>	γ_w	Perbandingan antara berat air dengan isi air.
Berat isi kering	<i>Dry Density</i>	γ_d	Perbandingan antara berat butir dengan isi tanah seluruhnya.
Kepadatan tanah	<i>Density</i>	ρ	Perbandingan antara masa tanah dengan volume tanah
Kadar air	<i>Water Content or Moisture Content</i>	w	Perbandingan antara berat air dengan berat butir tanah.
Angka pori	<i>Void ratio</i>	e	Perbandingan antara isi pori dengan isi butir tanah
Porositas	<i>Porosity</i>	n	Perbandingan antara isi pori dengan isi tanah seluruhnya.
Berat Jenis	<i>Specific Gravity</i>	G	Perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air
Derajat kejenuhan	<i>Degree Saturation</i>	S_r	Perbandingan antara isi air pori dengan isi pori

Untuk mendapatkan hubungan antara berat isi, kadar air, angka pori dsb., kita dapat meninjau sejumlah tanah yang mengandung satuan isi butirnya. Tanah tersebut terdiri dari tiga bagian yaitu butir-butir/partikel tanah, sejumlah air dan sejumlah udara, sebagaimana ditunjukkan gambar dibawah ini (Gambar 5.1):



Gambar 5.1. Diagram Tanah

Berat serta isi dari ketiga bagian tersebut diatas (Gambar 5.1) dapat dihitung dengan menggunakan definisi-definisi pada Tabel 5.1 menjadi persamaan-persamaan berikut:

Kadar air

$$w = \frac{e \text{ Sr } \gamma_w}{G \gamma_w} = \frac{e \text{ Sr}}{G}$$

$$w G = e \text{ Sr}$$

Berat isi

$$\gamma = \frac{\gamma_w (G + e \text{ Sr})}{1 + e} = \frac{\gamma_w (G + wG)}{1 + e} = \frac{\gamma_w G (1 + w)}{1 + e}$$

jadi Angka Pori

$$e = \frac{\gamma_w G (1 + w)}{\gamma} - 1$$

Berat Isi Kering

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

dan Porositas

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

Nilai berat isi tanah, kadar air, dan berat jenis dapat ditentukan melalui pengujian di laboratorium. Dengan mengetahui nilai-nilai tersebut dan menggunakan persamaan-persamaan diatas, kita dapat menghitung nilai angka pori, berat isi kering dan derajat kejenuhan.

5.2 Percobaan Laboratorium untuk Berat Isi, Kadar Air dan Berat Jenis

5.2.1 Berat Isi

Cara menentukan berat isi tanah adalah dengan mengukur berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah asli biasanya dipakai sebuah cincin yang dimasukan kedalam tanah sampai terisi penuh, kemudian atas dan bawahnya diratakan dengan spatula/pisau serta tanahnya ditimbang. Apabila ukuran cincin serta beratnya diketahui maka berat isi dapat langsung dihitung.

Contoh:	Berat cincing + tanah	= W_2
	Berat cincin	= W_1
	Berat tanah	= $W_2 - W_1$
	Isi Cincin	= 1
	Jumlah berat isi	= $\frac{W_2 - W_1}{1}$

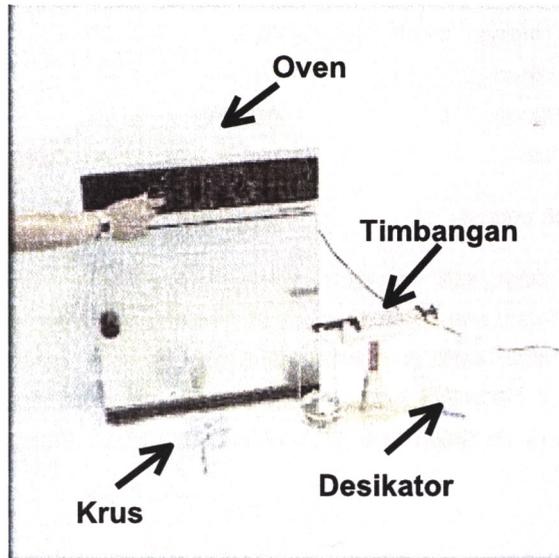
Untuk tanah yang tidak asli, misalnya pada percobaan pemadatan, maka tanah dipadatkan didalam suatu alat cetak yang isinya diketahui. Setelah permukaan atasnya diratakan, maka cetakan serta tanah ditimbang dan berat isi tanah dapat langsung dihitung. Untuk detail pengujian berat isi, dapat mengacu pada SNI 03-3637-1994 : Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus dengan Cetakan Benda Uji.

5.2.2 Kadar Air

Untuk menentukan kadar air sejumlah tanah, tempatkan tanah dalam krus (kaleng kecil) yang beratnya (W_1) diketahui sebelumnya. Krus dengan tanah ditimbang (W_2) dan kemudian dimasukan dalam oven yang temperaturnya 105°C untuk masa waktu 24 jam. Setelah dioven kemudian krus dan tanah ditimbang kembali (W_3).

Dengan demikian:	Berat air	= $W_2 - W_3$
	Berat tanah kering	= $W_3 - W_1$
	Berat air tanah	= $\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1}$

Untuk detail pengujian kadar air, dapat mengacu pada SNI 1965:2008 (tanah dan batuan) sedangkan untuk tanah gambut dan tanah organik lainnya mengacu pada SNI 03-2831-1992 : Metode Pengujian Kadar Air Tanah. Alat pengujian kadar air ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Alat Pengujian Kadar Air

5.2.3 Berat Jenis

Untuk percobaan ini dipakai piknometer, yaitu sebuah botol yang isinya diketahui dengan tepat. Cara melakukan percobaan adalah sebagai berikut:

1. Piknometer dikeringkan dan ditimbang (= W_1)
2. Sejumlah tanah yang telah dikeringkan dalam oven dimasukkan dalam piknometer dan ditimbang lagi (= W_2)
3. Air suling ditambah pada piknometer sampai setengah penuh. Udara yang masih ada di dalam tanah tersebut dikeluarkan dengan memanaskan piknometer atau memakai pompa "vacuum". Setelah tidak ada lagi udara di dalam tanah maka piknometer diisi air sampai penuh dan direndam sampai mencapai temperatur yang seragam. Permukaan luar piknometer dikeringkan dengan teliti dan piknometer ditimbang (= W_3)
4. Air dengan tanah dikeluarkan dari piknometer, lalu piknometer dibersihkan dan diisi air suling saja sampai penuh, dan direndam kembali. Kemudian bagian luar piknometer dikeringkan dan ditimbang (= W_4)

Dengan demikian:

$$\text{Berat tanah} = W_2 - W_1$$

$$\text{Berat air} = W_4 - W_1 = \text{isi piknometer}$$

$$\text{Berat air pada waktu piknometer mengandung tanah dan air} = W_3 - W_2$$

$$\text{Berat air yang mengganti tanah} = (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) = \text{isi contoh}$$

$$\text{Maka berat jenis } G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 5.3 sedangkan detail pengujian mengacu pada SNI 1964:2008 : Metode Pengujian Berat Jenis Tanah.

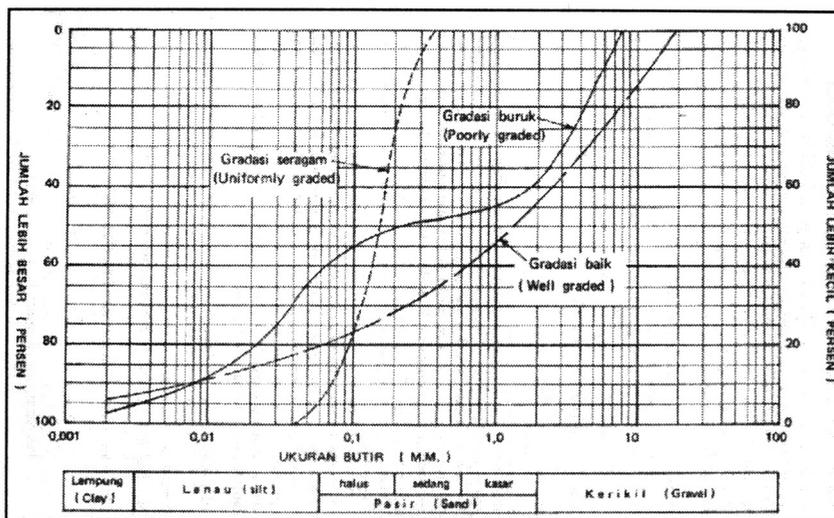


Gambar 5.3. Alat Pengujian Berat Jenis

5.3 Besar Butiran Tanah dan Cara Mengukurnya

Sifat-sifat suatu macam tanah tertentu banyak tergantung kepada ukuran butirnya. Karena itu pengukuran besarnya butir tanah merupakan suatu percobaan yang sangat sering dilakukan dalam bidang mekanika tanah. Besarnya butiran juga merupakan dasar untuk klasifikasi atau pemberian nama kepada satu jenis tanah.

Besarnya butiran tanah biasanya digambarkan pada grafik lengkung gradasi (*grading curve*) atau grafik lengkungan pembagian butir (*particle size distribution curve*) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4. Pada gambar tersebut dapat dilihat besarnya butir yang merupakan batas antara kerikil dan pasir, pasir dan lanau, dsb.



Gambar 5.4. Grafik Particle Size Distribution Curve

Satu jenis tanah dapat terdiri dari butir-butir yang termasuk beberapa golongan, misalnya kerikil sering mengandung pasir dan lempung, dan pasir sering mengandung lanau atau lempung. Tanah yang ukuran butirnya terdapat mulai dari yang besar sampai yang kecil dikatakan bergradasi baik (*well graded*). Jika terdapat kekurangan atau kelebihan salah satu ukuran butir tertentu maka tanah itu dikatakan bergradasi buruk (*poorly-graded*). Sedangkan jika besar butirannya semua hampir sama maka tanah tersebut bergradasi seragam (*uniformly graded*). Grafik lengkungan gradasi dari contoh-contoh tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Berdasarkan ukuran butirnya, tanah secara umum dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar : kerikil dan pasir

Sifat-sifat kerikil dan pasir tergantung terutama kepada ukuran butirnya. Karena itu sering dipakai koefisien-koefisien bilangan untuk menggambarkan bentuk lengkungan pembagian butirnya. Koefisien tersebut adalah sebagai berikut:

- Ukuran efektif (*effective size*) = D_{10}
- Koefisien derajat keseragaman (*Uniformity Coefisient*) = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$
- Koefisien lengkungan (*Coefisient of Curvature*) = $\frac{D_{30}}{D_{10} \times D_{60}}$

dimana D_{10} , D_{30} dan D_{60} adalah ukuran butir yang sama dengan 10%, 30% dan 60% lolos saringan (yaitu lebih kecil dari ukuran tersebut).

2. Tanah berbutir halus : lempung dan lanau

Sifat-sifat tanah lempung dan lanau secara langsung tidak ada hubungannya dengan ukuran butirnya. Hal ini disebabkan karena sifat lempung dan lanau lebih tergantung kepada komposisi zat mineralnya daripada ukuran butirnya. Karena itu penentuan ukuran butir tidak begitu penting untuk tanah lanau dan lempung. Yang lebih penting adalah menentukan batas-batas plastisnya, karena angka-angka ini memberikan petunjuk yang lebih baik akan sifatnya daripada ukuran butirnya.

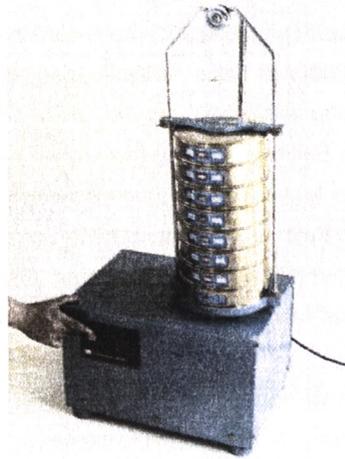
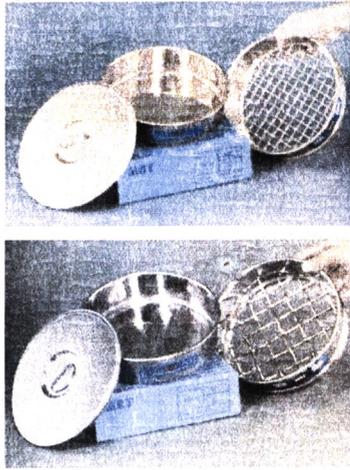
Penentuan ukuran butiran tanah tersebut diatas dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer.

5.3.1 Analisis Saringan

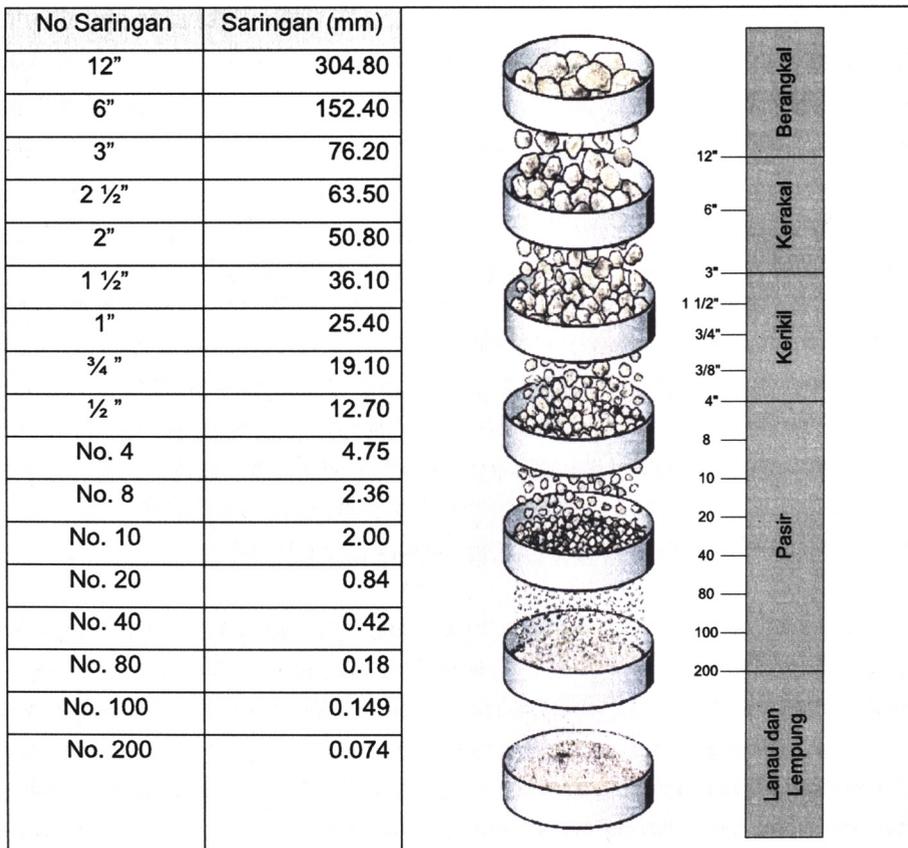
Untuk tanah berbutir kasar dipakai cara saringan, yaitu tanah dikeringkan dan disaring pada serangkaian saringan dengan ukuran lubang tertentu, mulai dari yang kasar sampai yang halus. Dengan demikian butiran tanah terpisah menjadi beberapa bagian dengan batas-batas ukuran yang diketahui.

Saringan yang kasar, ukurannya ditentukan dari dimensi lubangnya, misalnya 3 inci, $1\frac{1}{2}$ inci dan seterusnya sampai sekecil $\frac{1}{4}$ inci. Saringan yang lebih halus dari ukuran ini ditentukan menurut jumlah kawat per inci, misalnya saringan No.40 mempunyai 40 kawat per inci, saringan No.10 mempunyai 10 kawat per inci dan sebagainya. Pada saringan No.40 terdapat 40 x 40 lubang setiap inci persegi. Saringan terkecil adalah No.200 (200 kawat per inci) yang ukuran lubangnya hampir sama dengan ukuran batas antara pasir dengan lanau (*silt*), sehingga cara saringan ini hanya dapat dipakai untuk ukuran butir sampai sekecil pasir halus. Detail pengujian dapat mengacu pada SNI 1968:2008 : Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.

Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya yang diperoleh dari pengujian analisis saringan diperlihatkan pada Gambar 5.6. Seperti terlihat pada gambar tersebut, dengan analisis saringan maka tanah dapat diklasifikasikan sebagai berangkal, kerakal, kerikil, pasir (kasar, sedang dan halus) serta lanau dan lempung. Lanau dan lempung diklasifikasikan sebagai bahan yang lolos saringan No. 200 (0.074mm). Untuk mengetahui prosentase lanau dan lempung maka dibutuhkan pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer seperti yang diterangkan pada sub bab selanjutnya.



Gambar 5.5. Alat Pengujian Analisis Saringan



Gambar 5.6. Pengujian Analisis Saringan

5.3.2 Analisis Hidrometer

Untuk butir yang lebih kecil daripada pasir halus atau lolos saringan No 200 (0.074mm) dipakai cara pengendapan (*sedimentation*). Tanah dicampur dengan air (biasanya sebanyak 1000cc) dan diaduk kemudian dibiarkan berdiri supaya butir-butir mengendap. Cara ini disebut percobaan hidrometer (*hydrometer analysis*). Detail pengujian dapat mengacu pada SNI 3423:2008 : Metode Pengujian Analisis Ukuran Butir Tanah dengan Alat Hidrometer. Alat untuk pengujian analisis hidrometer diperlihatkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Pengujian Hidrometer

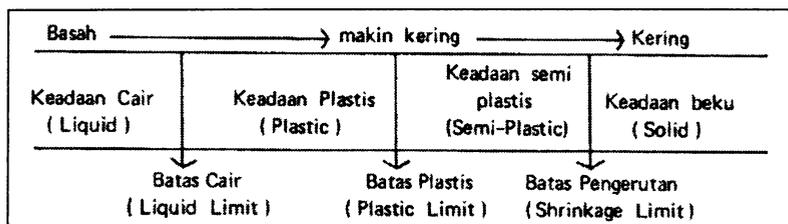
5.4 Batas-Batas Atterberg

Pengujian batas-batas Atterberg diperkenalkan pertama kali oleh Albert Atterberg (Swedia). Awalnya pengertian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) merujuk pada enam batas konsistensi dari tanah berbutir halus yaitu yang disebut *limit of viscous flow*, *liquid limit* (batas cair), *sticky limit*, *cohesion limit*, *plastic limit* (batas plastis) dan *shrinkage limit* (batas susut). Untuk kepentingan engineering saat ini, istilah Atterberg Limits biasanya hanya merujuk pada pengujian *liquid limit* (batas cair), *plastic limit* (batas plastis) dan pada beberapa kasus termasuk *shrinkage limit* (batas susut).

Karena batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Batas-batas tersebut diatas dapat diilustrasikan sebagai berikut:

Bayangkanlah suatu contoh tanah berbutir halus (lempung atau lanau) yang telah dicampur air sehingga mencapai keadaan cair. Jika campuran ini kemudian dibiarkan mengering sedikit demi sedikit, maka tanah ini akan melalui beberapa keadaan tertentu

dari keadaan cair sampai keadaan beku. Keadaan-keadaan ini, dengan istilah-istilah yang dipakai untuk perbatasan antaranya adalah seperti ditunjukkan Gambar 5.8.



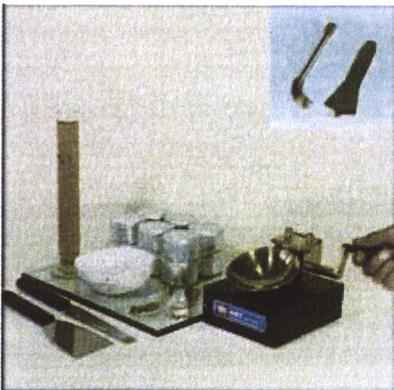
Gambar 5.8. Batas-Batas Atterberg

Dua nilai yang paling penting adalah nilai batas cair dan batas plastis (disebut batas-batas Atterberg). Pengukuran nilai batas-batas ini dilakukan secara rutin untuk sebagian besar penyelidikan-penyelidikan yang meliputi tanah yang berbutir halus. Karena batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Penentuan batas-batas Atterberg ini dilakukan hanya pada bagian tanah yang lolos saringan No.40.

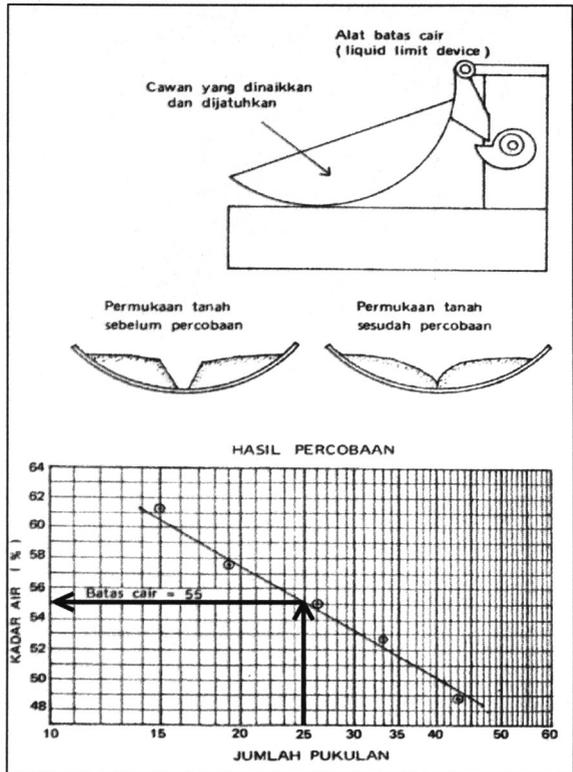
5.4.1 Batas Cair (*Liquid Limit, LL*)

Menurut definisi, batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (yaitu batas atas dari daerah plastis). Cara menentukan batas cair adalah dengan menggunakan alat batas cair seperti diperlihatkan pada Gambar 5.9. Tanah yang telah dicampur dengan air ditaruh dalam cawan dan didalamnya dibuat alur dengan memakai alat spatula (*grooving tool*). Bentuk alur ini sebelum dan sesudah percobaan dapat dilihat pada Gambar 5.9. Engkol alat diputar sehingga cawan dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar, dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berimpit.

Batas cair adalah kadar air tanah dimana diperlukan 25 pukulan untuk maksud ini. Biasanya percobaan dilakukan terhadap beberapa contoh dengan kadar air yang berbeda, dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat suatu grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan seperti terlihat pada Gambar 5.10. Dari grafik ini dapat dibaca kadar air pada 25 pukulan. Detail pengujian dapat mengacu pada SNI 1967:2008 : Metode Pengujian Batas Cair dengan Alat Cassagrande.



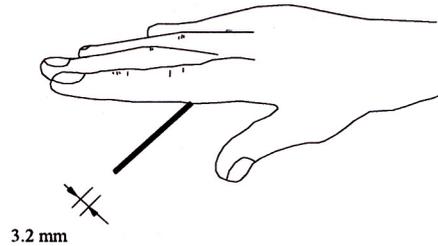
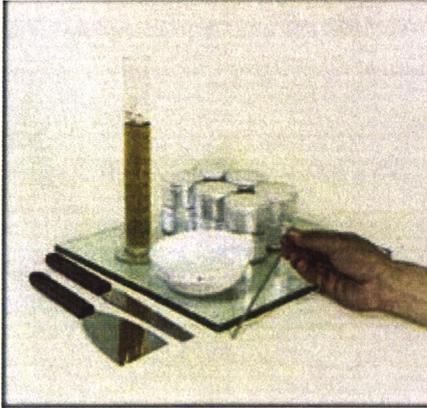
Gambar 5.9. Alat Pengujian Batas-batas Atterberg



Gambar 5.10. Alat Batas-Batas Atterberg

5.4.2 Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*)

Berdasarkan definisi, batas plastis adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis. Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada plat kaca sehingga diameter dari batang tanah yang dibentuk mencapai 3 mm (lihat Gambar 5.11). Bilamana tanah mulai menjadi pecah pada saat diameternya mencapai 3mm maka kadar air tanah itu adalah batas plastis. Detail pengujian dapat mengacu pada SNI 1966:2008 : Metode Pengujian Batas Plastis.



Gambar 5.11. Alat dan Pengujian Batas Plastis

5.4.3 Indeks Plastis (*Plasticity Index, PI*)

Selisih antara batas cair dan batas plastis adalah daerah dimana tanah tersebut adalah dalam keadaan plastis. Ini disebut "*Plasticity Index*" (PI), dimana $PI = LL - PL$.

5.4.4 Indeks Kecairan (*Liquidity Index, I_L*) dan Indeks Konsistensi (*Consistency Index, I_c*)

Kadar air tanah dalam keadaan aslinya biasanya terletak antara batas plastis dan batas cair. Suatu angka yang dapat dipakai sebagai petunjuk akan keadaan tanah ditempat aslinya adalah indeks kecairan atau dapat digunakan juga indeks konsistensi.

Indeks kecairan (I_L) diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$I_L = \frac{w - PL}{LL - PL} = \frac{w - PL}{PI}$$

dimana

- w = kadar air tanah asli
- PL = plastic limit
- LL = liquid limit
- PI = indeks plastisitas

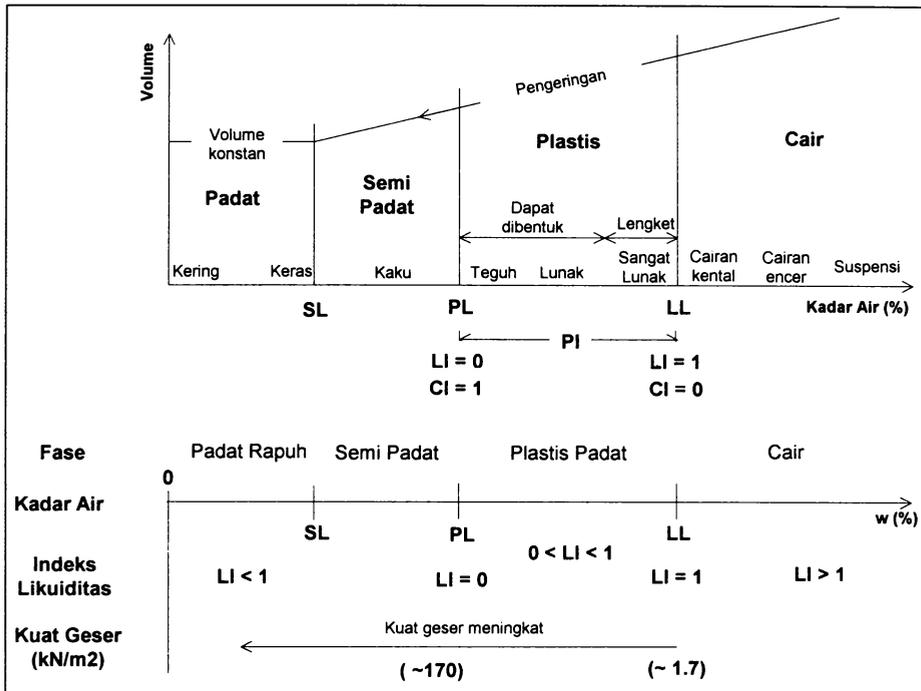
Sedangkan Indeks Konsistensi (I_c) diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$I_c = \frac{LL - w}{LL - PL} = \frac{LL - w}{PI}$$

Nilai I_L dan I_C pada umumnya berkisar antara 0 – 1. Jika I_L kecil, yaitu mendekati nol, maka tanah itu kemungkinan besar adalah tanah yang agak keras. Jika I_L besar, yaitu mendekati satu, ini berarti tanah tersebut pada kemungkinan besar adalah tanah lembek. Sebaliknya, jika I_C kecil, yaitu mendekati nol, maka tanah itu kemungkinan besar adalah tanah yang lembek. Jika I_C besar, yaitu mendekati satu, ini berarti tanah tersebut kemungkinan besar adalah tanah keras.

5.4.5 Kegunaan Batas-Batas Atterberg

Batas cair dan batas plastis tidak secara langsung memberikan nilai-nilai yang dipakai dalam perhitungan (design). Yang kita peroleh dari percobaan batas Atterberg ini adalah suatu gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatan rendah dan kompresibilitasnya tinggi serta sulit untuk memadatkannya, seperti untuk pembuatan jalan. Untuk macam-macam tanah tertentu, batas-batas Atterberg dapat dihubungkan secara empiris dengan sifat-sifat lainnya, misalnya dengan kekuatan geser, kompresibilitas, dan lain sebagainya. Indeks plastis biasanya dipakai sebagai salah satu syarat untuk bahan yang akan digunakan untuk pembuatan jalan. Gambar 5.12 menunjukkan aplikasi pengujian batas-batas Atterberg.



Gambar 5.12. Aplikasi Batas-batas Atterberg

5.5 Kepadatan Relatif pada Pasir dan Kerikil

Istilah kepadatan relatif (*relatif density*) dipakai untuk menyatakan derajat kepadatan dari tanah berbutir kasar, yaitu pasir dan kerikil.

Definisi dari kepadatan relatif adalah:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

dimana:

D_r = kepadatan relatif contoh tanah

e = angka pori contoh tanah

e_{max} = angka pori terbesar yang dapat dicapai di laboratorium (yaitu angka pori tanah dalam keadaan paling tidak padat)

e_{min} = angka pori terkecil yang dapat dicapai di laboratorium (yaitu angka pori tanah dalam keadaan paling padat)

Cara menentukan e_{max} dan e_{min} dilaboratorium adalah sebagai berikut:

1. Menentukan e_{max}

Bahan dikeringkan dalam oven, kemudian ditempatkan sedikit demi sedikit ke dalam suatu cetakan (*mould*). Cara menempatkannya harus sedemikian rupa sehingga butiran-butirannya tidak menjadi padat, yaitu bahan tidak diperbolehkan jatuh dan bahan yang sudah ditempatkan tidak boleh terganggu.

2. Menentukan e_{min}

Bahan ditempatkan dalam cetakan yang sudah terisi air. Kemudian cetakan dengan bahan didalamnya (masih dibawah permukaan air) digetar-getarkan selama beberapa menit dengan mempergunakan meja-getar (*vibrating table*).

Istilah yang biasa dipakai untuk kepadatan pasir atau kerikil adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut ini:

Tabel 5.2 Kepadatan Pasir atau Kerikil

	Kepadatan Relatif
Lepas (<i>loose</i>)	0 – 0.33
Sedang (<i>medium</i>)	0.33 – 0.67
Padat (<i>dense</i>)	0.67 – 1.00

Untuk pasir dan kerikil, kepadatan relatif adalah salah satu sifat yang sangat penting artinya. Kekuatan geser serta kompresibilitas tergantung banyak kepada kepadatan relatif. Juga daya tahan pasir terhadap gempa bumi atau getaran mesin, tergantung terutama kepada kepadatan relatifnya. Pasir yang kepadatan relatifnya rendah, mungkin akan mengalami "*liquifaction*" (yaitu akan menjadi cair), jika kena gempa bumi atau getaran mesin.

Pengukuran angka pori setempat, pada pasir atau kerikil agak sulit, karena pengambilan contoh asli seringkali tidak dapat dilaksanakan. Dalam hal ini banyak dipakai "*penetrometer*" (alat sondir) yang secara kasar dapat langsung memberikan petunjuk mengenai kepadatan relatif tersebut.

5.6 Sensitivitas pada Lempung

Apabila kita meremas (*remould*) contoh lempung yang asli tanpa mengubah kadar airnya, maka kekuatan contoh tersebut akan turun. Perbandingan kekuatan asli dengan kekuatan setelah diremas disebut sensitivitas. Makin besar kekuatan yang hilang berarti makin tinggi sensitivitas tanah tersebut.

Sensitivitas dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

S_t = Kekuatan asli (*undisturbed strength*) / kekuatan setelah diremas (*remoulded strength*)

Kekuatan asli dan setelah diremas biasanya ditentukan dengan melakukan percobaan uji tekan (*unconfined compression test*). Sensitivitas lempung dapat digolongkan menjadi beberapa golongan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Sensitivitas Lempung

Sensitivitas	Nilai S_t
Normal	2 - 4
Sensitif	4 - 8
Ekstra Sensitif	8 - 16
<i>Quick</i>	> 16

Lapisan lempung yang sensitif dan ekstra sensitif sering dijumpai di negara-negara Eropa Utara dan Amerika Utara, tetapi agak jarang ditemukan di Indonesia. Kebanyakan lapisan lempung di Indonesia, terutama yang termasuk golongan tanah residual, mempunyai sensitivitas yang rendah.

Biasanya tanah yang mengalami kehilangan kekuatan setelah diremas, kemudian akan mendapat kembali sebagian dari kekuatan yang hilang itu. Jadi apabila kita menyimpan contoh yang telah diremas, dengan mempertahankan tetap kadar airnya, maka lama kelamaan kekuatannya akan meningkat kembali, walaupun tidak akan mencapai kekuatan semula pada keadaan aslinya.

5.7 Tanah Ekspansif

5.7.1 Karakteristik tanah ekspansif

Istilah tanah ekspansif digunakan untuk tanah atau batuan lempungan yang memiliki potensi kembang-susut akibat perubahan kadar air. Tanah ini memiliki kecenderungan untuk mengembang apabila kadar airnya bertambah dan sebaliknya akan menyusut apabila kadar airnya berkurang. Meskipun potensi kembangnya (*expansion potential*) dipengaruhi oleh berbagai faktor (seperti: struktur tanah dan fabrik, kondisi lingkungan dan lain-lain), mineralogi lempung merupakan faktor utama yang menentukan perilaku tersebut. Kandungan mineral yang dimaksud adalah montmorillonite.

5.7.2 Kerusakan Perkerasan Akibat Tanah Ekspansif

Apabila jalan dibangun diatas tanah ekspansif maka kerusakan yang umum terjadi pada adalah retakan memanjang, pengangkatan tanah (*heaving*), penurunan dan longsoran.

5.7.2.1 Retakan Memanjang

Retak pada perkerasan yang terjadi akibat penyusutan maupun pengembangan tanah berupa retak memanjang yang dimulai dari tepi bahu jalan menuju ke tengah perkerasan. Retakan memanjang disebabkan oleh retak yang terjadi pada tanah dasar, dan secara refleksi menjalar ke struktur perkerasan yang berada di atasnya diawali dari samping perkerasan jalan (Gambar 5.13). Pada umumnya retakan terbanyak terjadi pada bagian samping jalan yang berupa parit atau saluran air, terutama apabila fluktuasi permukaan air di dalamnya tidak tetap.



Gambar 5.13 Retak Memanjang Lokasi Ruas Jalan Banggo-Dompu, NTB

5.7.2.2 Pengangkatan Tanah (*Heaving*)

Pengangkatan tanah atau cembungan perkerasan jalan (*heaving*) diakibatkan oleh mengembangnya tanah ekspansif yang berada di bawah perkerasan. Cembungan ini dapat mempengaruhi struktur perkerasan sehingga menyebabkan permukaan jalan bergelombang.

5.7.2.3 Penurunan

Penurunan permukaan perkerasan terjadi akibat berubahnya sifat tanah dasar menjadi tanah lunak atau terjadinya pengecilan volume akibat proses penyusutan. Penurunan permukaan yang terjadi dapat mencapai kedalaman 10 cm sehingga mengganggu kelancaran pengguna jalan (lihat Gambar 5.14).



Gambar 5.14 Contoh Penurunan Perkerasan Jalan
(Dokumentasi foto jalan Semarang - Godong)

5.7.2.4 Longsoran

Air permukaan yang berada di atas perkerasan dapat masuk melalui celah-celah retakan, sehingga tanah menjadi jenuh air dan kadar air di dalamnya meningkat. Dengan adanya peningkatan kadar air pada tanah ekspansif, maka kuat geser tanah semakin berkurang dan akan mencapai kuat geser kritisnya. Semakin berkurangnya kuat geser tanah akan berakibat semakin berkurang daya dukungnya, sehingga pada saat faktor keamanan mendekati satu tanah dasar tidak mampu lagi menahan beban di atasnya dan longsoran pun tidak dapat dihindari (lihat Gambar 5.15).



Gambar 5.15 Contoh Longsoran Badan Jalan
(Dokumentasi foto longsoran jalan Ngawi-Caruban)

5.7.3 Identifikasi Tanah Ekspansif

Identifikasi tanah ekspansif pada umumnya dihubungkan dengan klasifikasi tingkat pengembangan tanah ekspansif. Sejauh ini belum ada klasifikasi tanah yang bersifat umum, disebabkan oleh beragamnya cara identifikasi untuk pengklasifikasian tanah ekspansif dan kondisi batas uji yang berbeda-beda. Oleh sebab itu hasil uji identifikasi dengan satu metode akan menghasilkan kelas tingkat pengembangan yang berbeda dengan hasil uji lainnya.

Sejumlah literatur memberikan beberapa teknik empiris untuk memperkirakan potensi pengembangan (*swelling potential*) berdasarkan parameter-parameter yang didapat dari uji batas-batas Atterberg dan analisis hidrometer.

Snethen et al. seperti dikutip dalam Nelson dan Miller (1992) menggolongkan potensi pengembangan suatu tanah berdasarkan batas cair dan indeks plastisitasnya. Jika batas cair suatu tanah > 60% atau jika indeks plastisitasnya > 35% maka tanah memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi.

Holtz dan Gibbs (dalam Nelson dan Miller, 1992) menyajikan kriteria untuk memperkirakan kembang potensial tanah tak terganggu dengan pembebanan sebesar 6,9 kPa seperti yang ditunjukkan

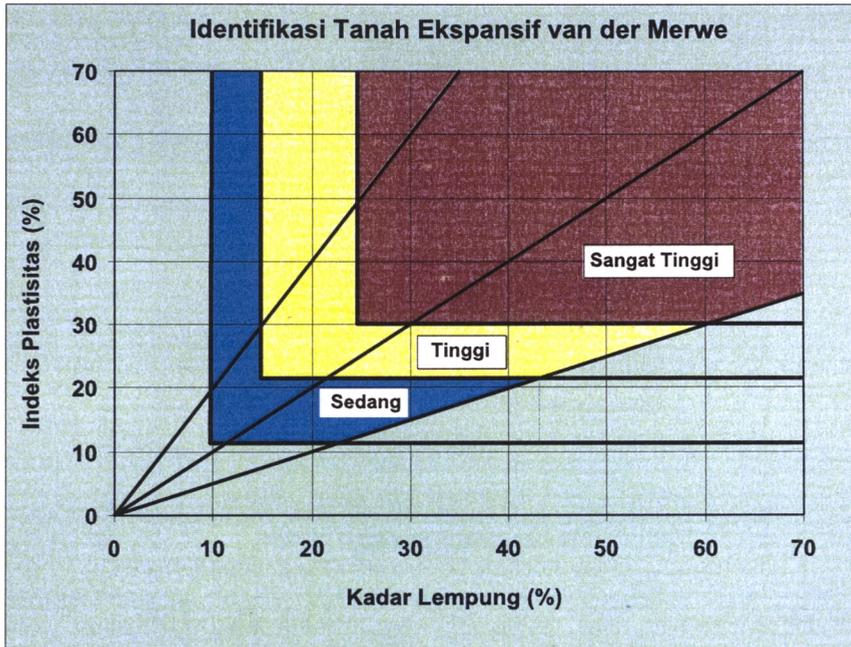
Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Korelasi Indeks Uji dengan Tingkat Pengembangan Berdasarkan Holtz dan Gibbs

Data dari Pengujian Indeks			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan volume)	Tingkat Pengembangan
Kadar Koloid (%)	PI	SL		
> 28	> 35	< 11	>30	Sangat tinggi
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
< 15	< 18	> 15	< 10	Rendah

Sumber: Nelson dan Miller, 1992

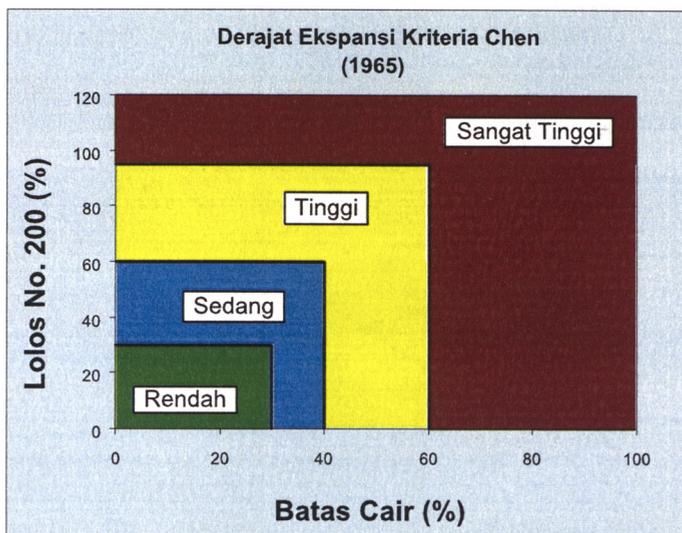
Van der Merwe seperti tercantum dalam Nelson dan Miller (1992) menggunakan indeks plastisitas dan kadar lempung (CF) serta membagi tanah ekspansif ke dalam kelas rendah, sedang dan tinggi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.16.



Sumber: Nelson dan Miller, 1992

Gambar 5.16 Grafik Interpretasi Tanah Lempung Van der Merwe, 1964

Sementara Chen (dalam Nelson dan Miller, 1992) mengembangkan kriteria berdasarkan batas cair dan persentase butiran yang lolos saringan No. 200 seperti ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Sumber: Nelson dan Miller, 1992
 Gambar 5.17 Derajat Ekspansi Berdasarkan Kriteria Chen (1965)

Potensi pengembangan juga dapat diketahui melalui nilai keaktifannya (*activity*). Skempton (dalam DPU, 2004b) merumuskan nilai keaktifan dengan persamaan berikut

$$Ac = \frac{PI}{CF}$$

dengan pengertian: Ac adalah tingkat keaktifan

PI adalah indeks plastisitas (%)

CF adalah persentase fraksi lempung (%) yang lebih halus dari 2 μ m.

Skempton juga memberikan tiga kategori tanah lempung berdasarkan aktifitas tersebut. Nilai aktifitas ini berkorelasi kuat dengan potensi pengembangan dan dapat diklasifikasikan seperti diperlihatkan pada Tabel 5.5.

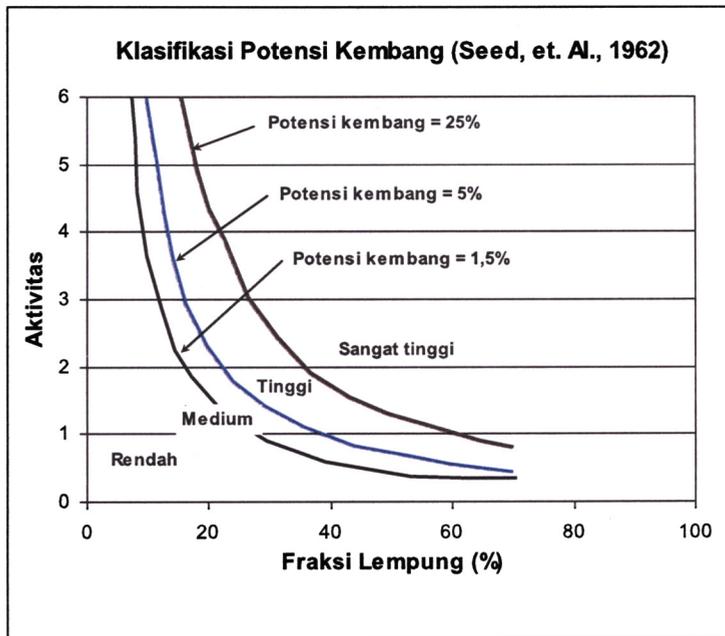
Tabel 5.5 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Rendah
0,75 – 1,25	Sedang
1,25 – 2,00	Tinggi
>2,00	Sangat tinggi

Sumber: DPU, 2004b

Untuk tanah yang dipadatkan dengan pemadatan standar pada kadar air optimum, Seed, et al. (tercantum DPU, 2004b) membuat klasifikasi potensi pengembangan (*swelling potential*) berdasarkan persentase ukuran lempung (< 0,002 mm) yang diplot terhadap nilai keaktifan. Nilai keaktifan ini merupakan perbandingan antara indeks plastisitas

dengan nilai kadar lempung yang dikurangi dengan 10, yang merupakan konstanta $\frac{PI}{CF-10}$. Kurva identifikasi tanah ekspansif menurut Seed et al diperlihatkan pada Gambar 5.18.



Sumber: DPU, 2004b

Gambar 5.18 Sebaran Nilai Potensi pengembangan Menurut Seed, et al., 1962

6 Deskripsi dan Klasifikasi Tanah

6.1 Pendahuluan

Istilah tanah dalam bidang mekanika tanah dipakai untuk mencakup semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil dan batu-batu besar. Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat bahan-bahan ini, telah dipakai metode-metode sistematis sehingga nama dan sifatnya dapat ditentukan dengan tepat. Metode sistematis ini disebut sistem klasifikasi tanah.

Terdapat sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam konstruksi jalan yaitu:

1. Sistem *Unified Soil Classification System (USCS)*
2. Sistem *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*

Dua sistem pengklasifikasian tanah ini juga telah diadopsi menjadi standar Indonesia dan disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Divisi 3 yaitu:

- SNI 03-6371-2000 : Tata Cara Pengklasifikasian Tanah dengan Cara Unifikasi Tanah
- SNI 03-6797-2002 : Tata Cara Klasifikasi Tanah dan Campuran Tanah Agregat untuk Konstruksi Jalan

6.2 Landasan Umum untuk Pendeskripsian dan Pengklasifikasian Tanah

Dari sudut pandang teknis, tanah dapat digolongkan menjadi:

1. Batu kerikil (*Gravel*)
2. Pasir (*Sand*)
3. Lanau (*Silt*)
4. Lempung organik atau inorganik (*Clay*)

Golongan batu kerikil dan pasir seringkali dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir kasar atau bahan-bahan tidak kohesif. Sedangkan golongan lanau dan lempung dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir halus atau bahan-bahan yang kohesif.

6.2.1 Batu Kerikil dan Pasir

Golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir-butir batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan-pecahan batu, tetapi kadang-kadang

mungkin pula terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, misalnya kwartz atau flint. Butir-butir pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral terutama kwartz.

Dalam beberapa hal, mungkin hanya terdapat butir-butir dari satu ukuran saja, dalam hal ini bahan tersebut dikatakan seragam. Pada macam lain, mungkin terdapat ukuran-ukuran butir yang mencakup seluruh daerah ukuran, dari ukuran batu besar sampai ke ukuran pasir halus, dan dalam hal ini tanah tersebut dikatakan bergradasi baik.

6.2.2 Lempung

Lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa partikel-partikel tanah melekat satu sama lain, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

6.2.3 Lanau

Adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan lebih mudah ditembus air daripada lempung dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada lempung.

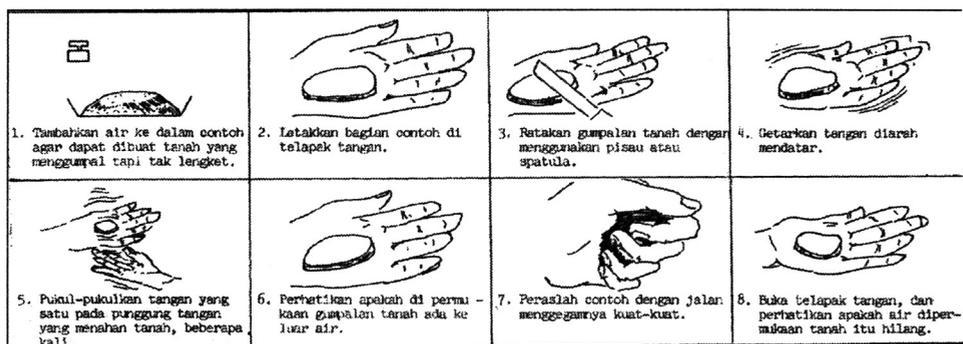
Dilatansi ini menunjukkan gejala perubahan isi apabila lanau itu dirubah bentuknya. Juga, lanau akan menunjukkan gejala untuk menjadi "quick" (hidup) apabila diguncang atau digetarkan.

6.3 Deskripsi Sistematis

Klasifikasi tanah dapat dilakukan secara visual atau dapat didasarkan pada hasil-hasil percobaan laboratorium. Dalam kedua cara ini, prinsip-prinsipnya sama, dan akan menghasilkan deskripsi atau klasifikasi yang sama.

Sudah diketahui bahwa sifat-sifat tanah yang berbutir kasar sangat tergantung pada ukuran butir-butirnya. Oleh karena itu, distribusi ukuran butir-butir itu adalah satu-satunya sifat yang dipakai untuk mengklasifikasikan tanah-tanah tersebut.

Akan tetapi lain halnya dengan tanah berbutir halus. Pada jenis tanah ini, diketahui bahwa tidak ada hubungan langsung antara sifat-sifatnya dengan ukuran butir-butirnya. Karena alasan inilah, maka untuk menyatakan sifat-sifat dan mengklasifikasikannya dipakai metoda-metoda lain, yaitu terutama percobaan batas-batas Atterberg dan dilatansi. Dengan kata lain, apabila sudah jelas diketahui bahwa butir-butir tanah tertentu seluruhnya lebih halus dari 0.074mm (saringan No.200), maka tak perlu lagi mengukur lebih lanjut ukuran-ukuran butirnya, untuk menentukan apakah tanah itu lanau ataukah lempung. Penentuannya dilakukan atas dasar hasil-hasil percobaan-percobaan batas-batas Atterberg dan dilatansi (Gambar 6.1).



Gambar 6.1 Percobaan Dilatansi

Penting untuk mengerti perbedaan antara istilah lempung dan fraksi lempung atau lanau dan fraksi lanau. Lempung adalah satu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus yang bersifat seperti lempung, yaitu memiliki sifat kohesi, plastisitas, tidak memperlihatkan sifat dilatansi dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Fraksi lempung menunjukkan bagian berat butir-butir dari tanah yang lebih halus dari 0.002 mm. Begitu pula lanau adalah istilah cara menyatakan, dan *fraksi lanau* adalah bagian berat bahan antara 0.002 mm dan 0.074 mm.

Sifat-sifat tanah yang berbutir campuran terutama tergantung pada komponen yang butirannya paling kecil. Jadi, sesuatu tanah yang mengandung 30% pasir, 40% butiran-butiran ukuran lanau dan 30% butiran-butiran ukuran lempung, pada umumnya kemungkinan akan bersifat sebagai lempung dan diberi istilah lempung.

Dalam banyak kasus tanah biasanya terdiri dari ukuran-ukuran butir yang meliputi beberapa macam ukuran tersebut diatas. Jadi istilah seperti kerikil kepasiran atau pasir kelanauan dipakai untuk menyatakannya. Suatu kerikil yang kepasiran terutama terdiri

dari batu kerikil, tetapi ada mengandung sejumlah pasir. Demikian pula suatu pasir kelanauan, lebih banyak mengandung pasir, tapi ada mengandung sejumlah lanau.

6.4 Deskripsi Visual

Dengan sedikit pengalaman dimungkinkan untuk melakukan klasifikasi dan menyatakan dengan tepat sesuatu tanah, semata-mata dengan hanya melihatnya (*look*), merasakannya (*feel*) atau membaunya (*smell*).

Langkah pertama untuk menyatakan sesuatu tanah adalah menentukan apakah bahan terbesar dari tanah itu masuk kedalam kategori pasir dan kerikil atukah kedalam kelompok lempung dan lanau. Garis pemisah antara kedua macam tanah ini adalah batas antara ukuran pasir dan lanau yaitu 0.074mm (saringan No. 200). Ukuran ini merupakan ukuran butir terkecil yang dapat dilihat dengan mata telanjang.

Bila hampir seluruh tanah itu lebih kasar dari ukuran batas ini, maka diberi nama yang sesuai, dengan memperhatikan perbandingan relatif dari ukuran butir-butir yang ada, sebagai dasar untuk menyatakannya. Misalnya "kerikil kepasiran", suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari kerikil, tetapi ada mengandung sejumlah pasir.

Bila kebanyakan dari tanah itu lebih halus dari pada ukuran batas/pasir lanau, maka tanah itu termasuk kedalam kelompok lanau atau lempung, tetapi penentuan apakah lanau atau lempungnya tidak dilakukan atas dasar ukuran butirnya. Cara yang paling baik dipakai untuk membedakan antara lanau dan lempung adalah percobaan dilatansi. Sejumlah tanah lunak (cukup basah sehingga hampir-hampir lekat) diletakkan ditangan terbuka dan diguncang-guncang secara mendatar. Dengan lanau, air akan muncul pada permukaannya dan akan hilang bila contoh tanah itu kemudian ditekan diantara jari atau dibengkokkan. Untuk tanah lempung, hal ini tidak akan terjadi.

Contoh-contoh pernyataan yang khas dari bahan-bahan yang berbutir kasar dan berbutir halus adalah sebagai berikut:

- Kerikil Kepasiran; bergradasi baik dengan sedikit bahan kelanauan, hampir seluruh kerikilnya keras dan bersudut, ukuran maksimum 3 inci, abu-abu.
- Lempung; coklat muda, plastisitas tinggi, mengandung batu disana-sini (1/2 inci).

6.5 Sistem Unified Soil Classification System (USCS)

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai adalah sistem USCS. Standar Indonesia, SNI 03-6371-2000: Tata Cara Pengklasifikasian Tanah dengan Cara Unifikasi Tanah, menguraikan prosedur untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS). Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia kedua untuk Kesatuan Engineering Angkatan Darat Amerika. Pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) sebagai metode klasifikasi tanah (ASTM D 2487). Pengklasifikasian tanah ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian laboratorium, yaitu:

- Analisis distribusi partikel
- Batas-batas Atterberg

Unified Soil Classification System (USCS) mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok:

1. Berbutir kasar (lebih dari 50% tertahan pada saringan No. 200)

Tanah-tanah berbutir kasar dibagi menjadi pasir dan kerikil, dan kemudian dibagi lagi menjadi; yang mengandung bahan halus dalam jumlah yang ada artinya dan yang bebas dari bahan-bahan halus. Yang mengandung bahan-bahan halus kemudian diklasifikasikan menurut diagram plastisitas (menjadi golongan yang bersifat kelanauan atau bersifat kelempungan) dan yang bebas dari bahan-bahan halus menurut grafik lengkung gradasi dengan mempergunakan koefisien-koefisien derajat keseragaman dan koefisien-koefisien lengkungan.

Tanah berbutir kasar dibagi ke dalam kerikil, dinotasikan sebagai **G** ($G = \underline{G}$ ra \underline{v} el) dan pasir, **S** ($S = \underline{S}$ and).

Setiap group tanah ini dibagi lagi ke dalam empat golongan, yaitu

- Bergradasi baik dan cukup bersih (mengandung hanya sedikit kandungan mineral berbutir halus), dinotasikan **W** ($W = \underline{W}$ ell Graded),
- Bergradasi buruk dan cukup bersih, dinotasikan **P** ($P = \underline{P}$ oorly Graded),
- Bergradasi baik dengan lempung sebagai pengikat, dinotasikan **C** ($C = \underline{C}$ lay),
- Berbutir kasar dan mengandung tanah berbutir halus, dinotasikan **M** ($M = \underline{M}$ ilt).

Secara umum, penamaan golongan-golongan tanah berbutir kasar adalah sebagai berikut:

Huruf Pertama

G – Kerikil

S - Pasir

Huruf Kedua

W – bergradasi baik (dari lengkung gradasi)

P – bergradasi tidak baik (dari lengkung gradasi)

M – kelanauan (dari grafik plastisitas)

C – kelembungan (dari grafik plastisitas)

Jadi untuk tanah berbutir kasar terdapat 8 golongan tanah.

2. Berbutir halus (kurang dari 50% tertahan pada saringan No. 200)

Tanah berbutir halus dibagi kedalam:

- Tanah lanau anorganik (tidak mengandung material organik) dan tanah yang mengandung pasir yang berbutir sangat halus, dinotasikan **M** ($M = \text{Silt}$),
- Tanah lempung anorganik, dinotasikan **C** ($C = \text{Clay}$),
- Tanah lanau dan lempung organik, dinotasikan **O** ($O = \text{Organic}$),
- Tanah dengan kadar organik sangat tinggi, dinotasikan **Pt** ($Pt = \text{Peat}$),

Untuk golongan **M**, **C** dan **O**, dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cairnya, yaitu

- Batas cair < 50%, digolongkan ke dalam tanah berbutir halus dengan kompribilitas rendah hingga sedang, dinotasikan **L** ($L = \text{Low plasticity}$)
- Batas cair > 50%, digolongkan ke dalam tanah berbutir halus dengan kompribilitas tinggi, dinotasikan **H** ($H = \text{High plasticity}$)

Secara umum, penamaan golongan-golongan tanah berbutir kasar adalah:

Huruf Pertama

O – Organik

C - Lempung

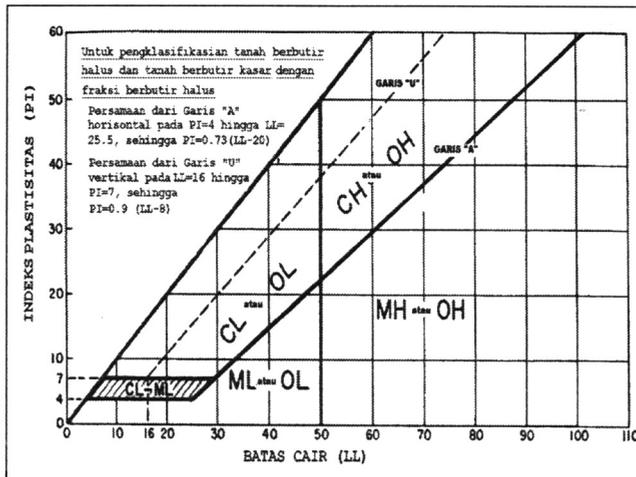
M – Lanau

Huruf Kedua

H – plastisitas tinggi

L – plastisitas rendah

Klasifikasi kedalam golongan lanau atau lempung dilakukan dengan mempergunakan diagram plastisitas (*plasticity chart*) seperti terlihat pada Gambar 6.2.

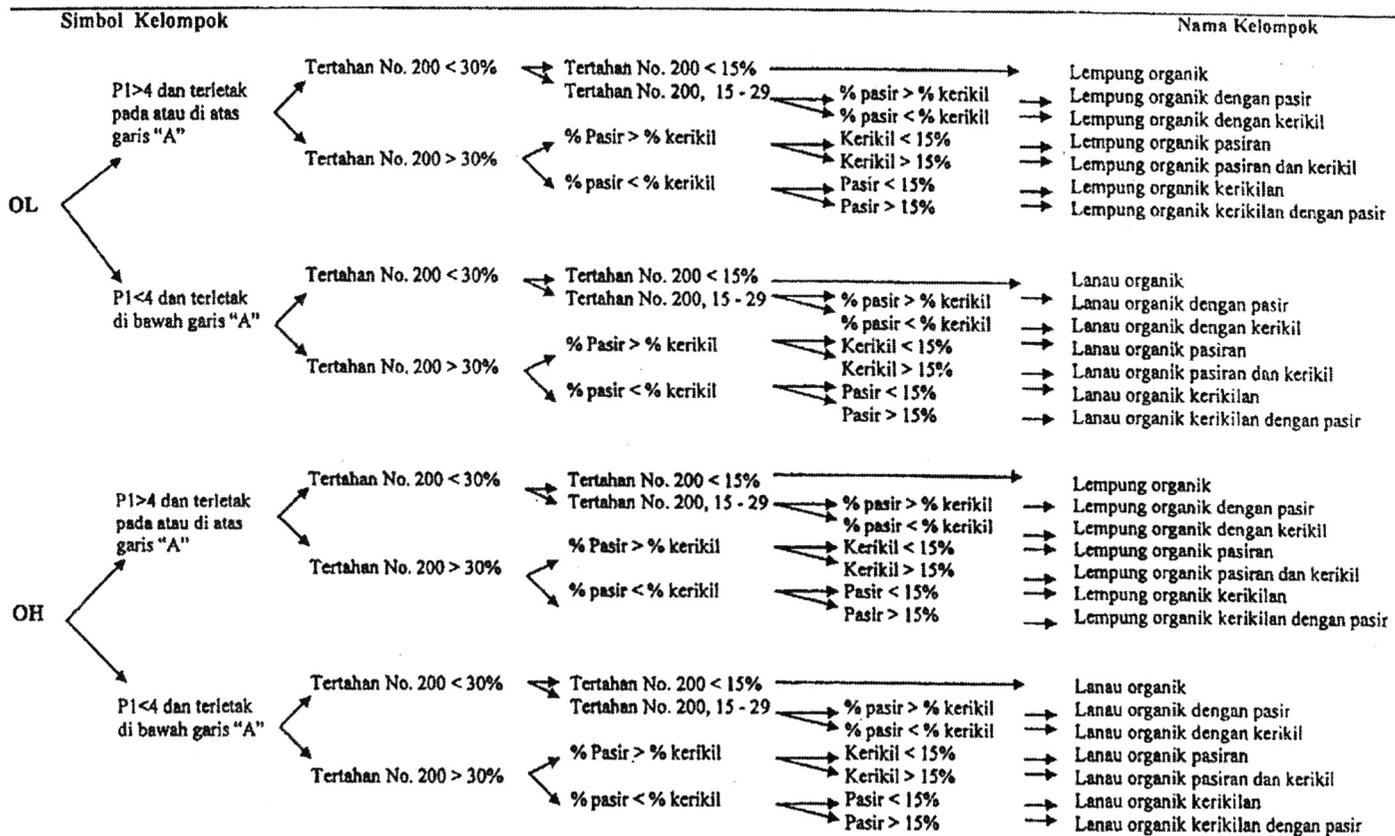


Gambar 6.2 Grafik Plastisitas

Diagram ini merupakan grafik PI (Plastisitas Indeks) terhadap LL (Liquid Limits) dimana digambarkan sebuah garis diagonal yang disebut Garis – A dan satu garis tegak lurus ditarik pada batas cair 50.

Garis – A adalah batas empiris antara lempung inorganik (CL dan CH) dengan lanau inorganik (ML dan MH) atau tanah-tanah organik (OL dan OH). Garis tegak lurus, pada batas cair 50 itu memisahkan lanau dan lempung yang batas cairnya rendah (L) dari lanau dan lempung yang batas cairnya tinggi (H). Dibagian bawah diagram, dibawah batas cair, kira-kira pada nilai 29 dan antara nilai PI sebesar 4 dan 7, sifat-sifat tanah menunjukkan gejala saling berimpitan dan karena itulah garis – A didaerah ini menjadi suatu daerah. Klasifikasi dualistis CL –ML dipakai untuk tanah-tanah yang berada didalam daerah ini.

Bagan alir prosedur yang disederhanakan untuk mengklasifikasikan lempung dan lanau inorganik serta lempung dan lanau organik dapat dilihat pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4. Penentuan organik atau inorganik suatu tanah pada metode USCS ini ditentukan berdasarkan pengujian batas-batas Atterberg yaitu uji batas cair, dengan menggunakan dua benda uji yang berbeda. Satu benda uji dioven terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian dan benda uji lainnya dalam keadaan asli (tidak dikeringkan dengan oven). Jika nilai batas cair benda uji yang dioven dibagi nilai batas cair benda uji dalam keadaan asli kurang dari 0.75, maka tanah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah organik.



Gambar 6.4. Bagan Alir untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Organik

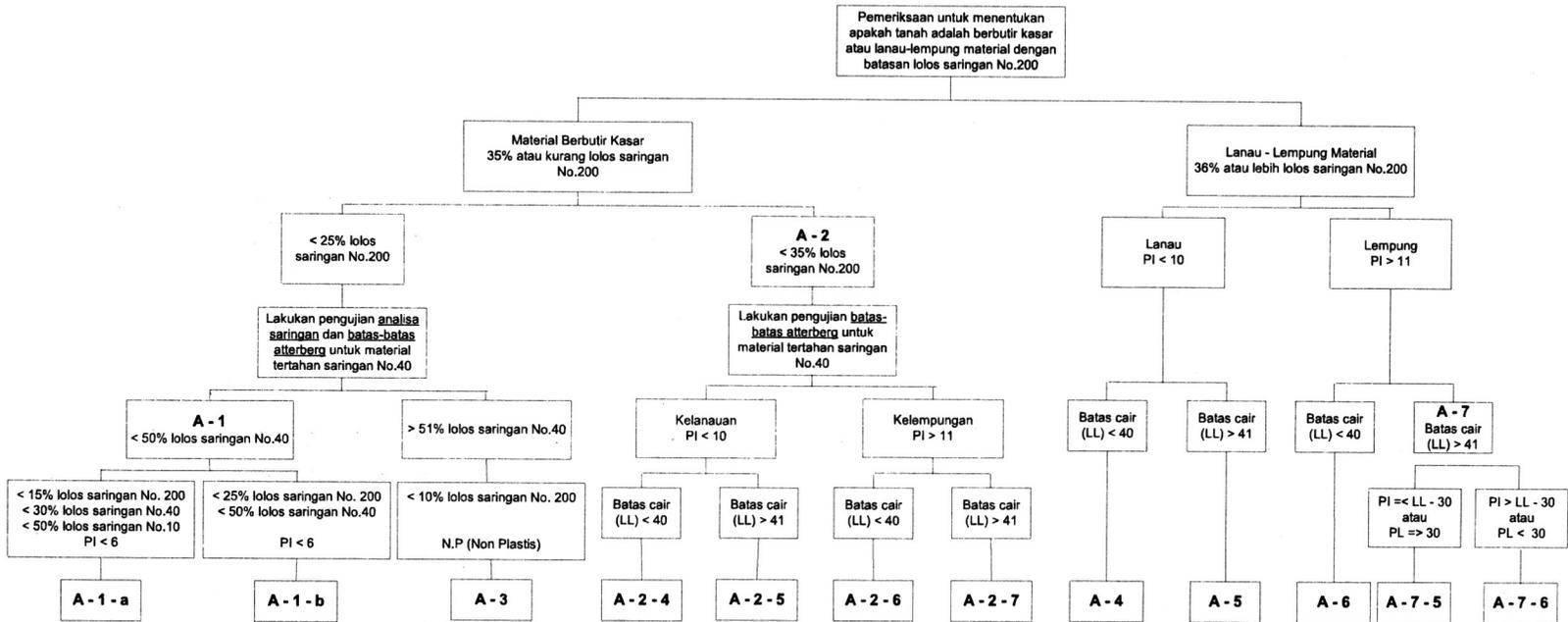
6.6 Sistem American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Sistem klasifikasi ini dibuat oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, terutama dikembangkan untuk menganalisis material subgrade dalam pembangunan jalan raya (lihat Tabel 6.1).

AASHTO mengklasifikasi tanah dalam 7 golongan utama yang dinotasikan mulai dari A-1 hingga A-7 seperti ditunjukkan pada Gambar 6.5. Tanah berbutir kasar diklasifikasikan kedalam golongan A-1, A-2, dan A-3, yaitu tanah lolos saringan No. 200 maksimum 35%. Sedangkan lanau - lempung diklasifikasikan kedalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 yaitu tanah lolos saringan no.200 lebih dari 35%.

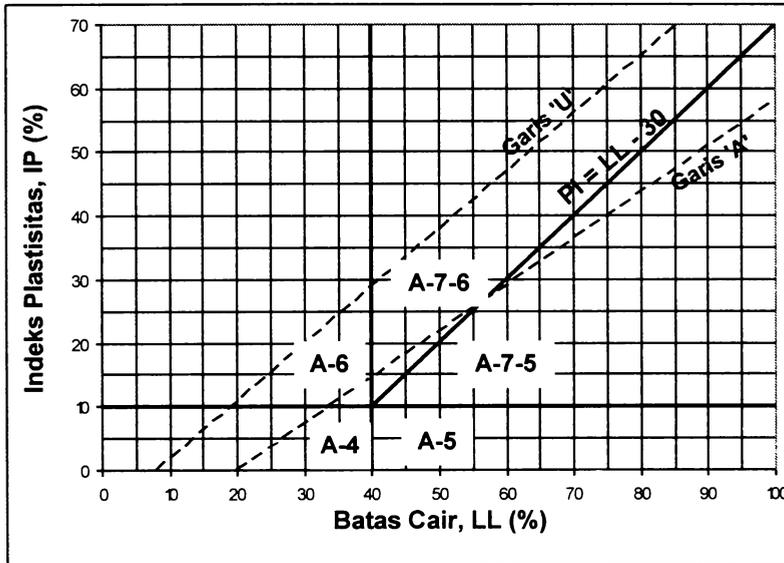
Tabel 6.1. Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (≤ 35% lolos saringan No.200)							Material Lanau- Lempung (> 35% lolos saringan No.200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis saringan: persen lolos :											
No. 10	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 maks	50 maks	51 maks	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan No.40:											
Batas Cair	-		-	40 maks	41 min	40 maks	41 maks	40 maks	41 min	40 maks	41 maks
Indeks Plastisitas	6 maks		N.P.	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Jenis material pokok	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir kelanauan atau kelempungan				Tanah lanau		Tanah lempung	
Tingkatan Umum Tanah Dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai jelek			



Gambar 6.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Suatu grafik sederhana yang menggambarkan hubungan antara batas cair dan indeks plastisitas untuk penggolongan tanah lanau dan lempung ditunjukkan pada Gambar 6.6. Gambar 6.6 juga menunjukkan perbandingan antara sistem klasifikasi tanah USCS dan sistem AASHTO. Pada sistem USCS, tanah yang berada dibawah Garis 'A' adalah tanah lanau dan tanah yang berada diatas Garis 'A' diklasifikasikan sebagai tanah lempung. Sedangkan pada sistem AASHTO tanah yang berada dibawah dan diatas Garis 'A' diklasifikasikan sebagai tanah lempung.



Gambar 6.6 Rentang Nilai Lanau dan Lempung Berdasarkan Batas Cair dan Indeks Plastisitas

Secara umum dapat dikatakan kualitas tanah untuk digunakan sebagai material subgrade semakin lemah dengan meningkatnya angka dibelakang huruf A.

Klasifikasi AASHTO didasarkan atas hasil analisis saringan No. 10, 40 dan 200 juga pengujian Atterberg yang diambil dari contoh tanah yang lolos saringan No. 40. Pembedaan kualitas tanah yang jatuh dalam satu kelompok tertentu dilakukan dengan perhitungan Indeks Group (GI) dengan persamaan sebagai berikut:

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

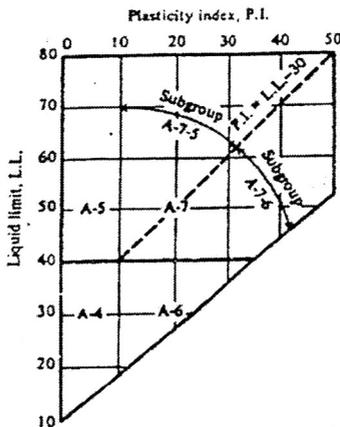
dimana F = prosentase lolos saringan No.200
 LL = batas cair;
 PI = indeks plastisitas

Berdasarkan nilai grup indeks tanah subgrade dikategorikan seperti ditunjukkan dalam Tabel 6.2.

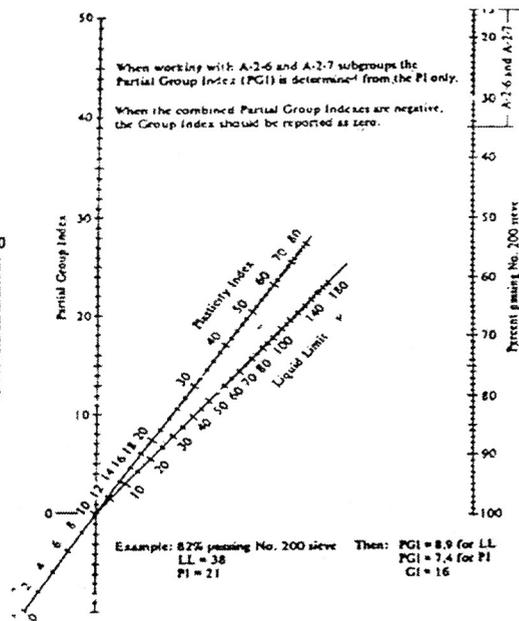
Tabel 6.2 Kelas Subgrade (AASHTO)

Kelas Subgrade	Nilai GI
Sangat Baik	A-1-a (0)
Baik	(0 – 1)
Sedang	(2 – 4)
Jelek	(5 – 9)
Sangat Jelek	(10 – 20)

Gambar 6.8 dan Gambar 6.7 menunjukkan diagram untuk penentuan kelompok tanah A-4 hingga A-7 dan penentuan grup indeks.



Gambar 6.8 Penentuan Kel. A-4 – A-7



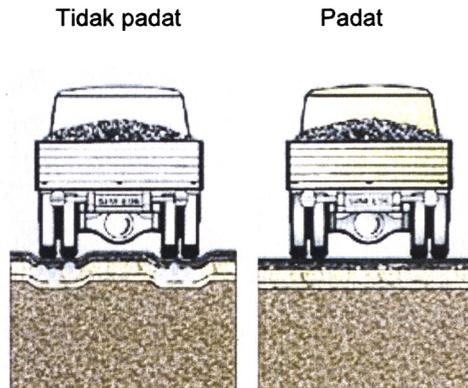
Gambar 6.7 Diagram Indeks Grup

Detail cara mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem AASHTO dapat mengacu pada SNI 03-6797-2002: Tata Cara Klasifikasi Tanah dan Campuran Tanah Agregat untuk Konstruksi Jalan.

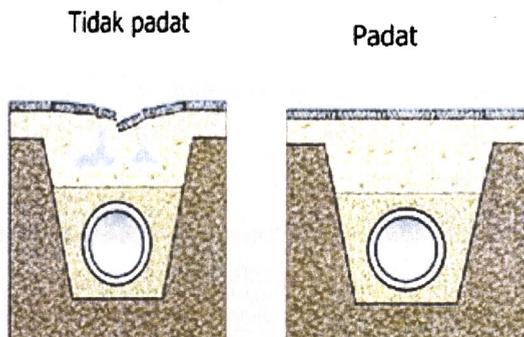
7 Pemasatan

Pemasatan tanah merupakan salah satu kegiatan yang sangat penting dalam pembuatan jalan dengan tujuan untuk meningkatkan sifat-sifat teknis tanah timbunan meliputi meningkatkan kuat geser, memperkecil kompresibilitas, dan memperendah permeabilitas tanah.

Bila pemasatan tidak dilakukan dengan benar maka akan mengurangi masa layannya, dimana kerusakan akan terjadi sebelum umur rencana dicapai. Sebagai ilustrasi tanah yang pemasatan kurang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



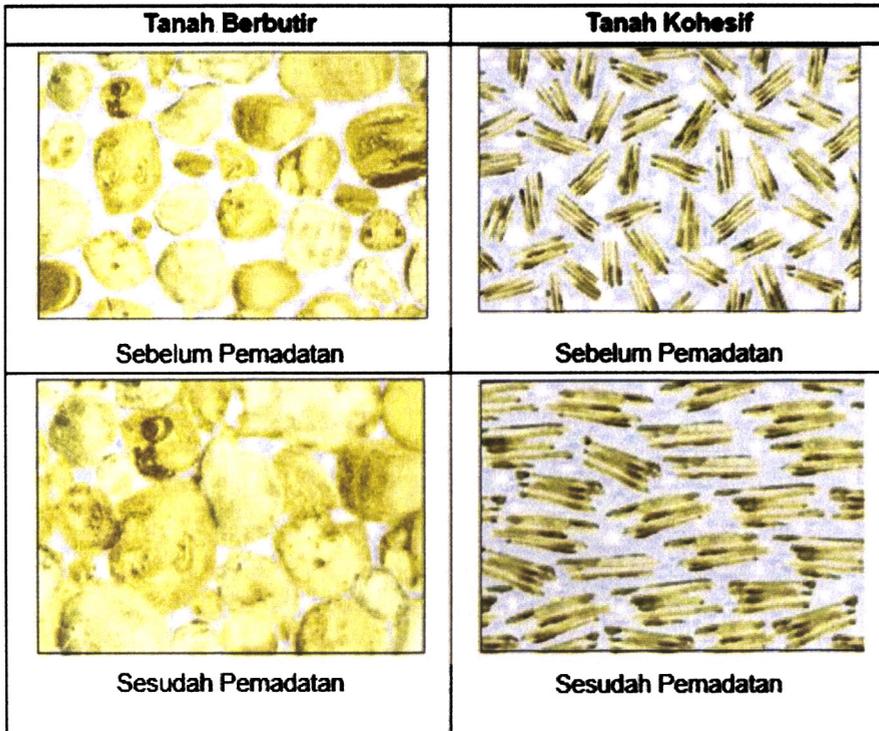
Gambar 7.1 Kerusakan Perekerasan Jalan yang Kurang Padat



Gambar 7.2 Kerusakan Perkerasan Jalan di Atas Gorong-gorong

7.1 Prinsip Dasar Pemadatan

Pemadatan adalah suatu proses untuk mengubah susunan partikel – partikel dengan cara memaksa udara keluar dari dalam rongga, sehingga menghasilkan berat isi yang maksimal. Sketsa susunan partikel sebelum dan sesudah dipadatkan untuk tanah berbutir halus dan berbutir kasar, dilukiskan seperti gambar di bawah ini.

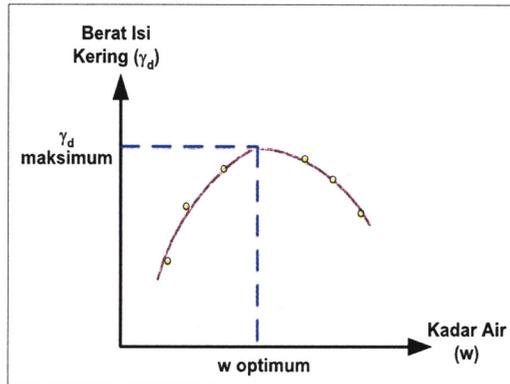


Gambar 7.3 Susunan Partikel Tanah Sebelum dan Sesudah Dipadatkan

7.2 Teori Pemadatan

7.2.1 Teori Lubrikasi (Pelumas)

Pemberian air pada proses pemadatan dapat berfungsi sebagai pelumas yang dapat memudahkan partikel tanah untuk bergerak saling mendekat. Dengan adanya penambahan air, maka nilai berat isi tanah akan meningkat hingga mencapai kadar air optimum, setelah itu nilai berat isi akan menurun.



Gambar 7.4 Hubungan Antara Berat Isi dan Kadar Air

7.2.2 Teori Tegangan Efektif

Tanah yang dipadatkan akan melawan energi dari alat pemadat sehingga semakin padat tanah akan semakin meningkat kuat gesernya. Peningkatan kuat geser tersebut diakibatkan oleh bertambahnya tegangan sekeliling tanah dan menurunkan tekanan air pori yang diikuti oleh terjadinya regangan geser yang besar. Penambahan kepadatan tanah akan berhenti saat daya dukung tanah sama dengan tekanan alat pemadat. Bertambah padatnya tanah dibarengi dengan meningkatnya kuat geser.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi'$$

7.3 Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan tanah dapat dilakukan di laboratorium dan dapat pula dilakukan di lapangan. Pemadatan tanah di laboratorium menggunakan alat penumbuk yang dijatuhkan secara bebas pada ketinggian tertentu terhadap tanah yang berada dalam cetakan. Sedangkan pemadatan tanah di lapangan menggunakan alat pemadat mesin gilas terhadap tanah yang telah dihampar.

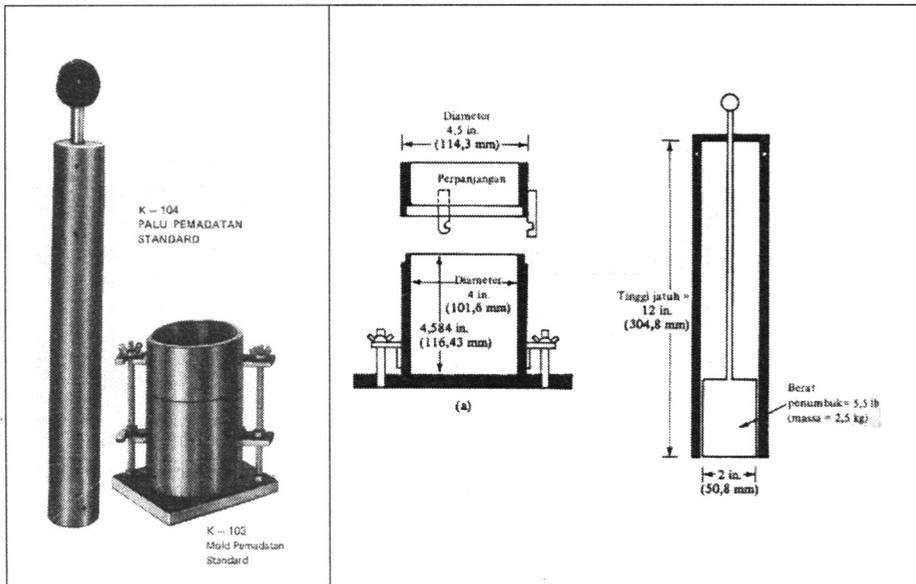
7.3.1 Pemadatan Tanah di Laboratorium

Tanah timbunan yang akan dijadikan sebagai material jalan, maka terlebih dahulu perlu dilakukan pengujian tanah di laboratorium untuk menentukan nilai berat isi kering dan kadar air optimum. Berat kering maksimum yang diperoleh dari hasil uji di laboratorium

dapat digunakan untuk menentukan derajat (tingkat) kepadatan di lapangan yaitu dengan membandingkan berat isi lapangan dengan berat isi kering laboratorium.

Prinsip dasar pemadatan untuk tanah kohesif mulai dikembangkan pada awal tahun 1930 oleh RR Proctor pada saat membangun dam untuk *Los Angeles Bureau of Waterworks and Supply*. Standar pengujian pemadatan laboratorium yang dikembangkan Proctor ini kemudian dikenal sebagai *Standard Proctor Test* (AASHTO T 99, ASTM D 698 atau SNI 03-1742 – 1989 Metode Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah)

Pada pengujian ini alat penumbuk yang digunakan berat 2,5 kg dijatuhkan dari ketinggian 30 cm terhadap contoh tanah terdiri dari 3 lapis dengan volume total 1,0 liter dengan tiap lapis ditumbuk sebanyak 25 tumbukan.



Gambar 7.5 Peralatan Cetakan dan Penumbuk

Energi pemadatan (*Compaction Effort*) adalah energi mekanis yang diberikan pada suatu satuan volume tanah dan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

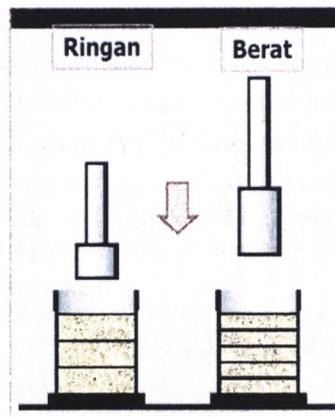
Berat penumbuk x tinggi jatuh x jumlah tumbukan

$$\text{Energi pemadatan} = \frac{\text{-----}}{\text{Volume}}$$

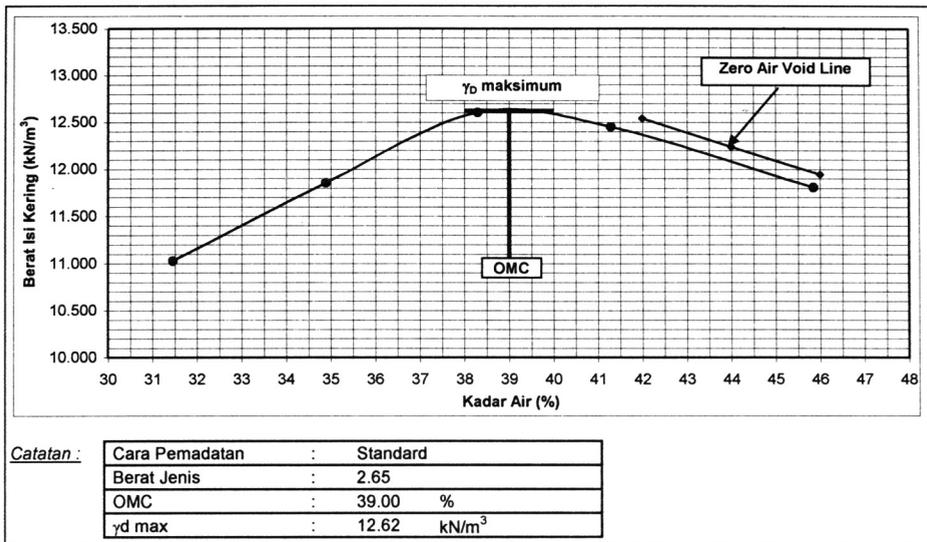
Kemudian pada saat perang dunia ke dua, US Army Corps of Engineering, mengembangkan *Modified Proctor Test* (AASHTO T 180, ASTM D 1557), SNI 03-1743-1989: Metode Pengujian Kepadatan Berat untuk Tanah). Pengujian pemadatan cara ini adalah untuk mendapatkan tingkat kepadatan yang lebih tinggi yang diperlukan untuk pembuatan lapangan terbang untuk pendaratan pesawat berat. Perbandingan antara pengujian pemadatan ringan dan pemadatan berat dilihat pada Tabel 7.1 di bawah ini.

Tabel 7.1 Perbedaan Pemadatan Ringan dan Pemadatan Berat

Uraian	Pemadatan ringan	Pemadatan berat
Berat penumbuk	2,50 kg	4,54 kg
Tinggi jatuh penumbuk	30 cm	45,70 cm
Jumlah lapisan	3 lapis	5 lapis
Energi pemadatan	592,57 kilo joule/m ³	5693, kilo joule/m ³



Gambar 7.6 Pemadatan Ringan dan Pemadatan Berat



Gambar 7.7 Data Hasil Pengujian Kepadatan

Error! Reference source not found. diatas memperlihatkan tipikal hasil pengujian untuk kepadatan ringan dan berat diperlihatkan untuk tanah. Perhitungan yang diperlukan untuk membuat kurva pemadatan tersebut adalah sebagai berikut

- Garis jenuh (*zero air void curve*) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + G_s \cdot w}$$

dimana: G_s = berat jenis

γ = berat isi (gr/cm^3) = berat tanah / isi tanah

w = kadar air (%) = berat air / berat butir tanah x 100%

Garis jenuh adalah garis kepadatan kering maksimum pada suatu nilai kadar air dimana pori tanah terisi sepenuhnya oleh air (jenuh).

- Berat isi kering dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

dimana : γ_d = berat isi kering (gr/cm^3)

γ = berat isi (gr/cm^3) = berat tanah / volume tanah

w = kadar air (%) = berat air / berat butir tanah x 100%

Dari kurva pemadatan tersebut akan diperoleh berat isi kering maksimum (*maximum dry density*, MDD) dan kadar air optimum (*optimum moisture content*, OMC) seperti terlihat pada **Error! Reference source not found.**

7.4 Metode Pemadatan

Cara pemadatan tanah di laboratorium terdiri dari empat metode yaitu metode A, B, C dan D. Keempat metode ini dibedakan berdasarkan ukuran cetakan dan ukuran butir benda uji yang digunakan.

Tabel 7.2 Metode Pemadatan

Metode	Diameter cetakan (mm)	Benda uji lolos saringan
A	102	No.4
B	152	No.4
C	102	3/4"
D	152	3/4 "

Standar Nasional Indonesia (SNI) menyarankan untuk menggunakan metode A, kecuali disyaratkan lain dalam spesifikasi. Sedangkan AASHTO, penentuan metode tersebut didasarkan pada jumlah benda uji yang lolos saringan No.4 dan ¾".

Metode A dan B digunakan bila jumlah benda uji yang tertahan saringan No.4 kurang dari atau sama dengan 40%, sedangkan metode C dan D digunakan bila jumlah benda uji yang tertahan saringan ¾" kurang dari atau sama dengan 30%,

7.4.1 Sifat Tanah yang Dipadatkan

Efek dari proses pemadatan terhadap sifat-sifat tanah secara spesifik adalah :

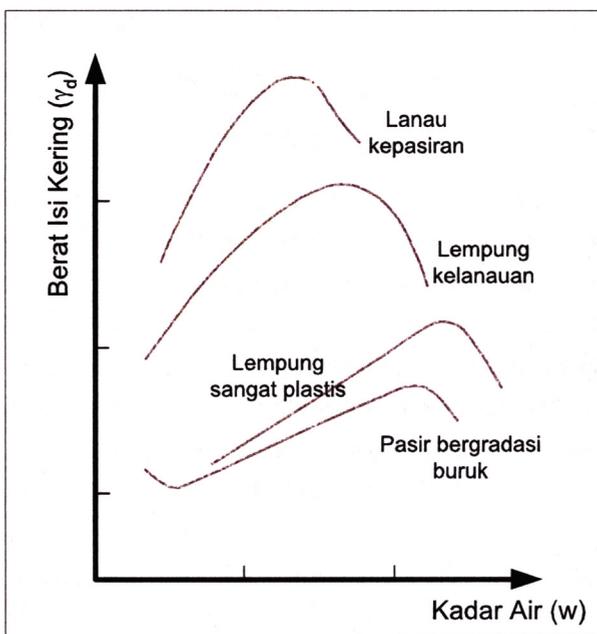
- Mencegah atau mengurangi pemampatan
- Menaikan stabilitas
- Meningkatkan daya dukung
- Mengurangi rembesan dan mengontrol perubahan volume
- Mencegah erosi
- Mengurangi likuifaksi

Sifat – sifat teknis tanah kohesif yang dipadatkan sangat tergantung dari: jenis tanah, kadar air dan energi pemadatan

7.4.1.1 Jenis Tanah dan Kadar Air

Yang dimaksud dengan jenis tanah adalah distribusi ukuran butirnya, berat jenis dan mineral lempung. Efek pemadatan yang dilakukan terhadap 4 jenis tanah yang berbeda yaitu tanah pasir, bergradasi jelek, lempung sangat plastis, lempung lanauan dan lanau pasiran dapat dilihat pada Gambar 7.8.

Untuk tanah pasir yang bergradasi jelek, awalnya nilai berat isi kering cenderung untuk menurun ketika kadar air bertambah. Selanjutnya nilai berat isi kering meningkat seiring dengan peningkatan kadar air. Menurunnya berat isi kering pada awal penambahan kadar air adalah diakibatkan oleh pengaruh tegangan tarik kapiler (*capillarity tension effect*).



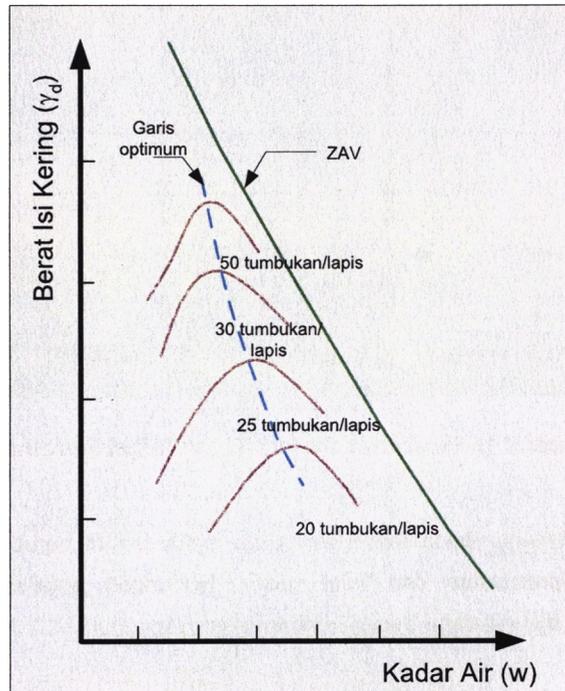
Gambar 7.8 Kurva Pemadatan untuk Empat Jenis Tanah

7.4.1.2 Energi Pemadatan

a). Jenis tanah lempung pasiran

Apabila energi pemadatan dilakukan perubahan, maka hubungan antara kadar air dan berat isi kering akan berubah pula. Gambar 7.9. di bawah ini menunjukkan kurva pemadatan tanah lempung pasiran yang dipadatkan menggunakan metode standar dengan memberikan energi yang berbeda. Semakin besar energi pemadatan yang

diberikan maka semakin besar pula berat isi kering yang dihasilkan serta kadar air optimumnya semakin kecil. Namun kepadatan akan berkurang bila tanah dipadatkan lebih dari kadar air optimumnya.

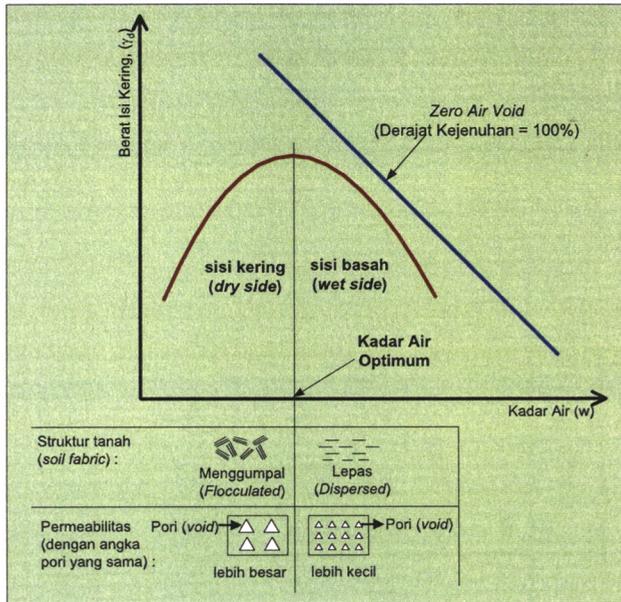


Gambar 7.9 Pengaruh Energi Pematatan

b). Jenis tanah lempung

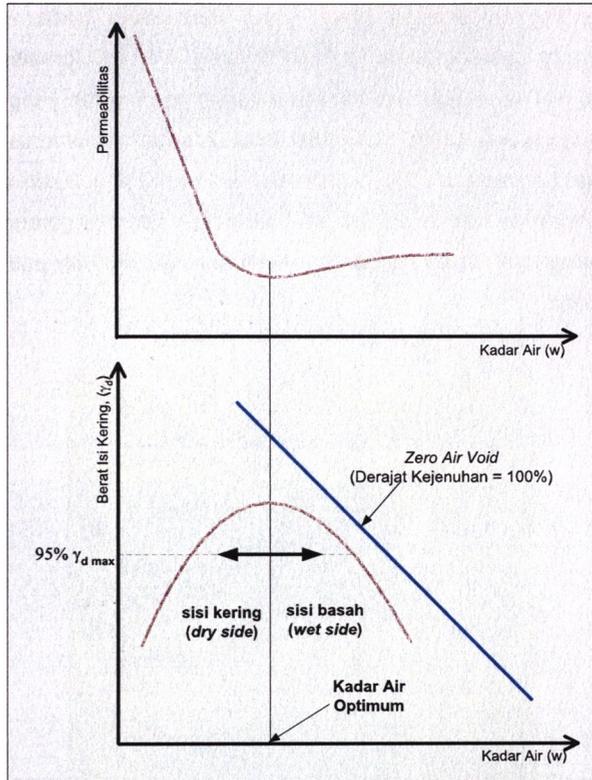
Pada tanah lempung proses pematatan akan merubah struktur tanah kohesif. Dengan energy pematatan yang sama, maka struktur tanah akan semakin beraturan dengan bertambah tingginya kadar air. Pematatan yang dilakukan pada kondisi kadar air berada di daerah sisi kering selalu menghasilkan struktur tanah yang tidak beraturan atau menggumpal. Sebaliknya bila pematatan dilakukan pada kondisi kadar air berada pada sisi basah, maka akan menghasilkan struktur tanah yang beraturan

Kondisi struktur tanah lempung diperlihatkan seperti gambar berikut



Gambar 7.10 Perubahan Struktur Tanah Akibat Pemadatan

Akibat perubahan struktur pada tanah lempung, maka terjadi perubahan sifat seperti permeabilitas, kompresibilitas dan kuat geser. Hubungan antara pemadatan dan permeabilitas dapat diperlihatkan pada Gambar 7.11.



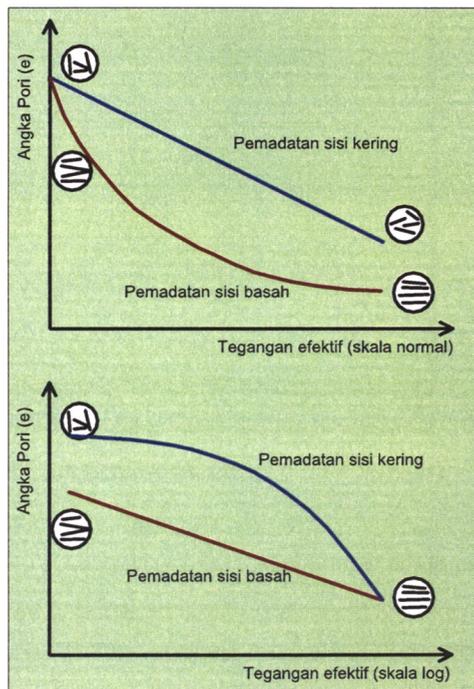
Gambar 7.11 Hubungan Antara Pemadatan Tanah dan Permeabilitas

Dari gambar di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Tanah lempung yang dipadatkan dengan energi pemadatan yang sama akan semakin kecil nilai permeabilitas seiring dengan bertambahnya kadar air dan akan mencapai nilai permeabilitas minimum pada kadar air optimum.
- Jika energy pemadatan dinaikan, maka nilai permeabilitas akan semakin kecil karena bertambah kecilnya angka pori (*void ratio*)
- Pemadatan pada kondisi kadar air berada di daerah sisi kering akan menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih besar dari pada kondisi kadar air berada di daerah sisi basah.

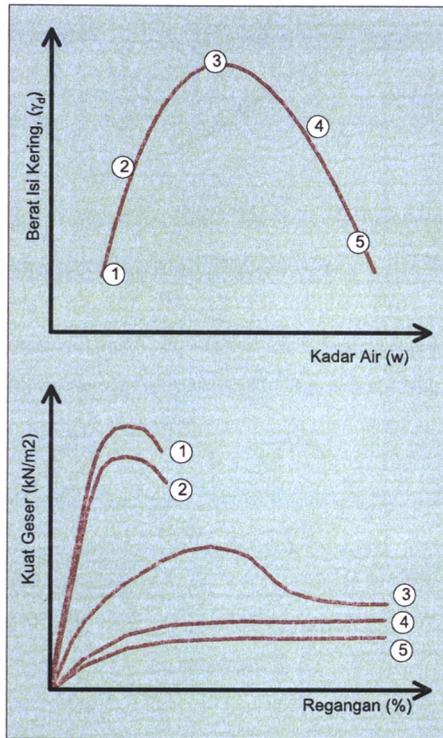
Pengaruh pemadatan pada tanah kohesif terhadap karakteristik kompresibilitas satu dimensi diperlihatkan pada Gambar 7.12. Gambar tersebut memperlihatkan kompresibilitas benda uji yang dipadatkan pada sisi kering dan sisi basah. Pada tegangan efektif yang kecil (gambar bagian atas), tanah dipadatkan pada sisi basah, maka lebih

kompresibel dibandingkan dengan tanah yang dipadatkan pada sisi kering. Pada tegangan efektif yang besar (gambar bagian bawah), sifat kompresibilitas yang terjadi adalah sebaliknya. Hal ini disebabkan karena tekanan pada tanah yang dipadatkan pada sisi kering cenderung menyebabkan orientasi struktur tanah tegak lurus terhadap beban, sehingga pada saat bersamaan rongga antar partikel berkurang. Akan tetapi untuk tanah pada sisi basah, tekanan hanya sedikit pengaruhnya pada pengurangan rongga antar partikel. Pada tegangan efektif yang besar, orientasi struktur tanah pada sisi kering atau sisi basah bias identik.



Gambar 7.12 Efek Pemadatan terhadap Kompresibilitas Tanah Kohesif

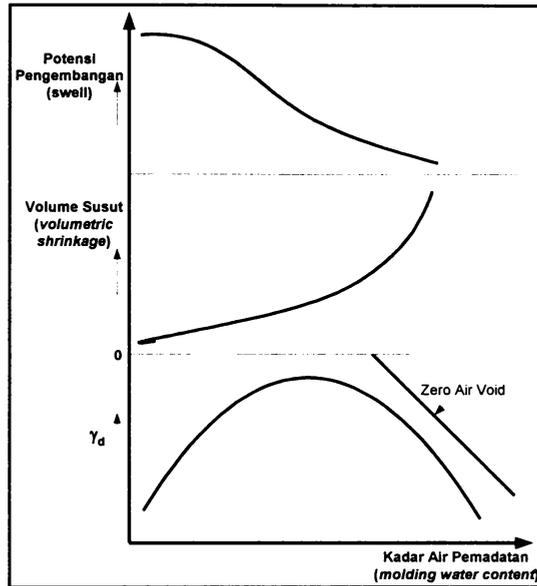
Kuat geser tanah kohesif menurun dengan meningkatnya kadar air, seperti diperlihatkan pada Gambar 7.13. Penurunan kuat geser yang paling besar terjadi ketika kadar air melebihi kadar air optimum. Oleh karena itu benda uji pada sisi kering akan mempunyai kuat geser yang lebih besar dari pada yang berada pada sisi basah walaupun keduanya mempunyai berat isi kering yang sama.



Gambar 7.13 Pengaruh Pemadatan Terhadap Kuat Geser

Hubungan antara pemadatan terhadap potensi pengembangan dan potensi susut diperlihatkan pada Gambar 7.14.

- Potensi pengembangan (*swelling*) akan lebih besar pada tanah yang dipadatkan pada kadar air yang berada di daerah sisi kering. Hal ini disebabkan tanah tersebut mempunyai kecenderungan untuk menghisap air.
- Sebaliknya potensi susut (*shrinkage*) pada tanah yang dipadatkan pada kondisi kadar air berada pada sisi basah akan lebih besar.
- Metode pemadatan tanah juga akan dapat berpengaruh terhadap besarnya penyusutan. Metode pemadatan statis (*static compaction*) akan menghasilkan penyusutan yang kecil, diikuti oleh metode vibrasi (*vibratory*) dan penyusutan yang paling tinggi akan terjadi bila dilakukan dengan pemadatan *kneading*.



Gambar 7.14 Potensi Pengembangan (*Swelling*) dan Susut (*Shrinkage*) Tanah yang Dipadatkan

7.5 Pemadatan Tanah di Lapangan

Pekerjaan tanah untuk jalan di lapangan diantaranya meliputi penimbunan dan pemadatan. Penimbunan dan pemadatan dimulai dengan kegiatan penggalian pada *borrow area* dan diangkut serta di tempatkan pada lokasi pekerjaan. Selanjutnya tanah timbunan disebar hingga ketebalan tertentu dengan menggunakan alat bulldozer atau motor grader.

Terdapat 4 (empat) energy pemadatan tanah di lapangan yaitu getaran (*vibration*), kejut (*impact*), peremasan (*kneading*) dan tekanan (*pressure*). Tetapi pada prinsipnya cara pemadatan adalah dengan cara statis dan vibrasi.

7.5.1 Peralatan Pemadatan

7.5.1.1 Penggilas Roda Besi Permukaan Halus (*Smooth Wheel Roller*)

Penggilas roda besi digunakan untuk meratakakan permukaan tanah dasar dan juga untuk penggilasan akhir tanah kepasiran atau kelembungan. Penggilas ini memberikan

cakupan pemadatan (*coverage*) 100 % di bawah roda, dengan tekanan kontak tanah mencapai 310 kN/m².sampai dengan 380 kN/m². Jenis penggilas roda besi ini sesuai Gambar 7.15.

7.5.1.2 Penggilas Roda Karet Pneumatik (*Pneumatic Rubber Tired Roller*)

Penggilas jenis ini menggunakan empat sampai enam roda karet dalam satu baris dengan cakupan pemadatan sekitar 70% sampai dengan 80%. Alat penggilas ini dapat digunakan untuk pemadatan tanah kelepungan dan kepasiran. Pada pemadatan dengan menggunakan alat ini dapat dicapai kombinasi antara penekanan dan peremasan dari sifat ban karet. Jenis penggilas roda karet ini sesuai Gambar 7.16.

7.5.1.3 Penggilas Kaki Kambing (*Sheepsfoot Roller*)

Penggilas kaki kambing mempunyai beberapa tonjolan (*projection*) pada bagian rodanya, dengan luas setiap tonjolan antara 25 cm² sampai dengan 85 cm². Alat ini paling efektif untuk memadatkan tanah kelepungan. Tegangan kontak dibawah tonjolan berkisar antara 1380 kN/m² sampai dengan 6900 kN/m². Jenis penggilas kaki kambing ini sesuai Gambar 7.17.

7.5.1.4 Penggilas Penggetar (*Vibrator*)

Penggilas penggetar merupakan alat yang sangat efisien untuk memadatkan tanah berbutir. Alat penggetar dapat dipasang pada penggilas roda besi, roda karet maupun penggilas kaki kambing untuk menghasilkan getaran terhadap tanah. Jenis penggilas penggetar ini sesuai Gambar 7.18.



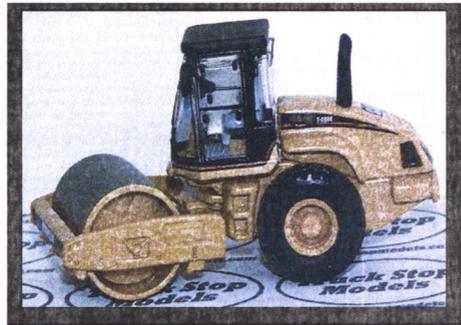
Gambar 7.15 Penggilas Roda Besi



Gambar 7.16 Penggilas Roda Karet



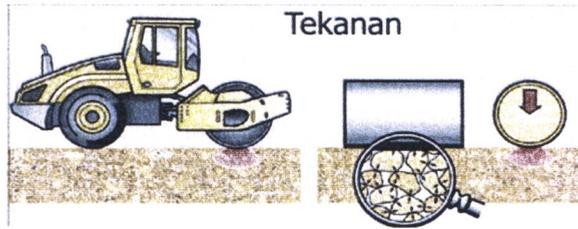
Gambar 7.17 Penggilas Kaki Kambing



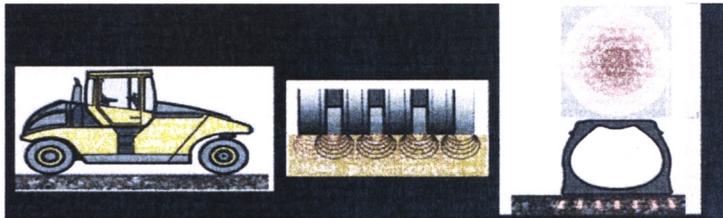
Gambar 7.18 Penggilas Penggetar
(Vibrator)

7.5.2 7 Energi Pematatan

Gaya statis merupakan penerapan beban mati dari mesin penggilas yang memberikan gaya tekan pada permukaan tanah. Energi pematatan dengan peremasan dan tekanan merupakan penerapan gaya statis. Pematatan statis hanya bekerja pada lapisan bagian atas saja pada ketebalan yang terbatas. Cara meningkatkan efektivitas gaya pematatan hanyalah dengan menambah berat mesin penggilas. Penerapan gaya statis dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

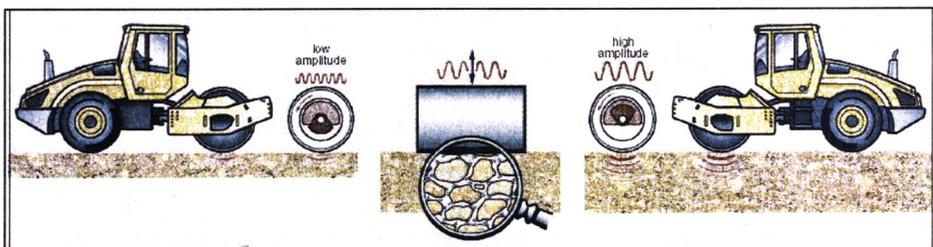


Gambar 7.19 Energi Pemadatan dengan Penekanan (*Pressure*)



Gambar 7.20 Energi Pemadatan dengan Peremas (*Kneading*)

Gaya penggetar menggunakan suatu mekanisme yang biasanya digerakan oleh mesin untuk menciptakan gaya penekan selain beban mati dari berat mesin itu sendiri. Gaya penggetar ini mempunyai frekuensi tinggi yaitu 2000 tumbukan/menit sampai degan 6000 tumbukan/menit dengan amplitudo yang rendah. Gaya penggetar ini menyebabkan partikel tanah bergerak sehingga dapat lebih mudah dipaksa menjadi padat. Lihat Gambar 7.21.

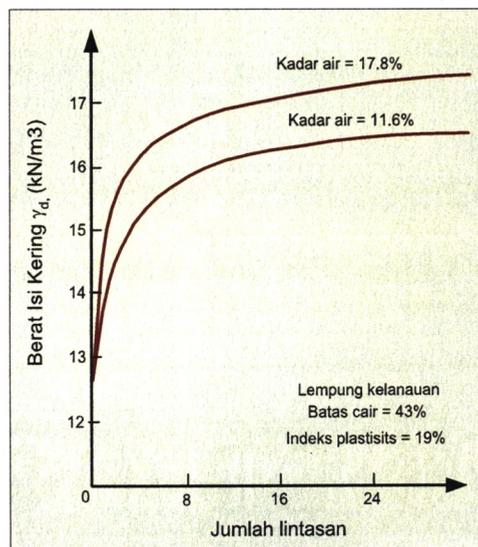


Gambar 7.21 Energi Pemadatan dengan Penggetaran (*Vibrating*)

7.5.3 Hubungan Antara Jumlah Lintasan, Berat Isi Kering dan Kadar Air

Selain jenis tanah dan kadar air, ada beberapa faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam pemadatan tanah di lapangan adalah ketebalan penghamparan, intensitas tekanan yang diberikan oleh alat pemadat dan luas daerah yang memperoleh tekanan. Faktor – faktor tersebut sangat penting karena besarnya tekanan yang ada pada permukaan tanah akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan/kedalaman. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya tingkat kepadatan tanah pada lapisan yang lebih dalam. Pada saat pemadatan berat isi kering tanah juga dipengaruhi oleh jumlah lintasan alat penggilas.

Pada Gambar 7.22 memperlihatkan kurva hubungan antara berat isi kering, kadar air dan jumlah lintasan untuk tanah lempung kelanauan. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa berat isi kering dan kadar air akan meningkat sampai pada suatu nilai tertentu dengan bertambahnya jumlah lintasan. Lebih dari nilai tersebut, berat isi kering dan kadar air relatif konstan. Pada banyak kasus, jumlah lintasa sebanyak 10 sampai 15 lintasan dapat memberikan nilai berat isi kering maksimum yang cukup ekonomis.



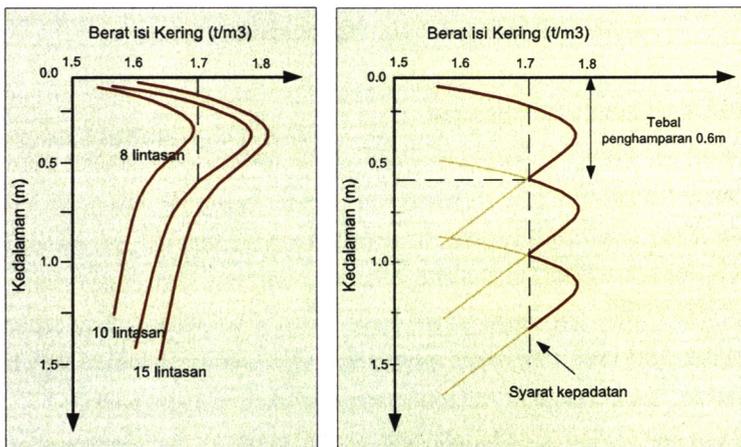
Gambar 7.22 Hubungan Antara Jumlah Lintasan, Berat Isi Kering, dan Kadar Air

7.5.4 Variasi Berat Isi Kering Terhadap Kedalaman

Pada Gambar 7.23 menunjukkan variasi berat isi kering terhadap kedalaman untuk tanah pasir bergradasi jelek. Pemadatan tanah tersebut dilakukan dengan menggunakan alat

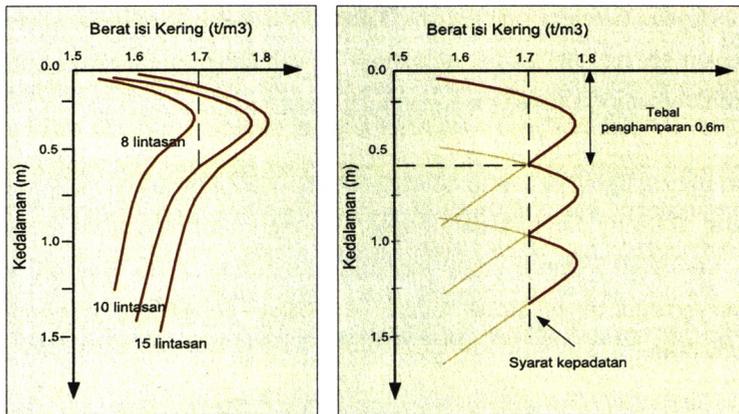
penggilas penggetar (*vibrator*) . Sebagai catatan : pada setiap kedalaman , berat isi kering akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan. Biasanya berat isi kering rata-rata akan berkurang setelah mengalami 15 lintasan.

Terlihat pula bahwa berat isi kering bervariasi terhadap kedalaman untuk semua jumlah lintasan. Berat isi kering dan kepadatan relatif (D_r) mencapai kepadatan maksimum pada kedalaman sekitar 0,5 meter dan semakin berkurang pada lapisan di atasnya. Pengurangan tersebut terjadi akibat lemahnya tahanan pengekan (*confining pressure*) ke arah permukaan.



Gambar 7.23 Variasi Berat Isi Kering Terhadap Banyaknya Lintasan

Jika hubungankedalaman, kepadatan relatif (berat isi kering) dan jumlah lintasan dapat ditentukan, maka ketebalan lapisan hamparan dapat ditentukan pula. seperti terlihat pada Gambar 7.24.



Gambar 7.24 Penentuan Tebal Lapisan Hamparan

7.6 Kontrol Kepadatan di Lapangan

Cara pengujian kepadatan di lapangan dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu pengujian destruktif dan non destruktif.

7.6.1 Cara Destruktif

Cara pengujian destruktif melibatkan penggalian dan pengambilan contoh tanah yang telah dipadatkan. Secara singkat tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

- Melakukan penggalian pada tanah yang telah dipadatkan dengan diameter dan kedalaman lubang tertentu.
- Tentukan berat tanah hasil penggalian.
- Tentukan kadar air tanah hasil penggalian.
- Tentukan volume tanah hasil penggalian, dengan cara :

◆ Menggunakan konus pasir (*sand cone*)

Dengan menggunakan pasir Ottawa yang mempunyai berat isi tertentu dimasukkan dalam lubang yang telah digali dengan menggunakan botol yang dilengkapi dengan corong. Setelah diketahui berat pasir yang mengisi lubang galian, maka volume lubang dapat diketahui pula yaitu sama dengan volume tanah yang digali. Berat isi tanah diperoleh dengan cara berat tanah dibagi dengan volume tanah.

◆ Menggunakan balon karet (*rubber ballon*)

Dengan menggunakan balon yang dikembangkan di dalam lubang galian. Volume galian tanah sama dengan volume balon.

◆ Menggunakan air

Dengan menggunakan air untuk mengisi lubang galian dimana air yang digunakan berasal dari tempat dengan beratnya tertentu. Dengan diketahui berat air yang mengisi lubang maka volume air dapat ditentukan dengan asumsi berat isi air $\gamma = 1 \text{ gr/cm}^3$

7.6.2 Cara Non Destruktif

Cara pengujian non destruktif adalah dengan menentukan kepadatan dan kadar air tanah yang telah dipadatkan secara tidak langsung dengan menggunakan *radioactive isotopes*. Besarnya nilai berat isi dan kadar air di lapangan dapat ditentukan secara cepat. Alat *nuclear density test* merupakan alat pengujian yang sering digunakan untuk maksud di atas.

7.7 California Bearing Ratio (CBR)

Maksud dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai CBR pada tanah ataupun campuran tanah dan agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Nilai CBR adalah suatu nilai yang menyatakan kualitas suatu bahan dibandingkan dengan bahan standar yang berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100%. Nilai CBR menunjukkan kekuatan relatif tanah, semakin besar nilai CBR maka semakin kuat tanah tersebut.

Pengujian ini pertama kali dikembangkan sekitar tahun 1930 di California Amerika Serikat oleh *Material Research Department of the California Division Highways* untuk menentukan nilai daya dukung lapis fondasi bawah (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*) pada perkerasan jalan raya.

7.7.1 Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR dilakukan dengan cara penetrasi ke dalam benda uji dengan kecepatan penetrasi konstan (1,27 mm/menit atau 0,05 inc/menit) dan besarnya beban yang diperlukan untuk mempertahankan kecepatan penetrasi tersebut dicatat pada interval penetrasi tertentu. Pengujian CBR dapat dilakukan di laboratorium dan juga dapat dilakukan di lapangan.

a) Pengujian CBR di laboratorium

Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inc) . Bila nilai CBR yang diperoleh pada penetrasi 2,54 mm lebih kecil dari nilai yang diperoleh pada penetrasi 5,08 mm (0,2 inc), maka pengujian ini harus diulang. Jika ternyata hasil pengujian ulang ini masih menghasilkan nilai CBR pada penetrasi 5,08 lebih besar, maka harga CBR diambil nilai CBR pada penetrasi 5,08 mm.

Benda uji yang digunakan untuk pengujian CBR adalah benda uji yang telah dipersiapkan sesuai SNI 03-1742-1989 : Metode kepadatan ringan untuk tanah dan SNI 03-1743-1989 Metode pengujian kepadatan berat untuk tanah. Bila diinginkan nilai CBR rendaman maka benda uji harus direndam dalam air terlebih dahulu selama 4 x 24 jam.



Gambar 7.25 Alat Uji CBR Laboratorium

PENGUJIAN CBR

Metode : Standard

Pengembangan : 0.001 inch

Tanggal	23-Sep	24-Sep	25-Sep	26-Sep
J a m	10.00	10.00	10.00	10.00
Pembacaan	913	960	963	964
Perubahan	0	47	50	51
Swelling (%)				1.03

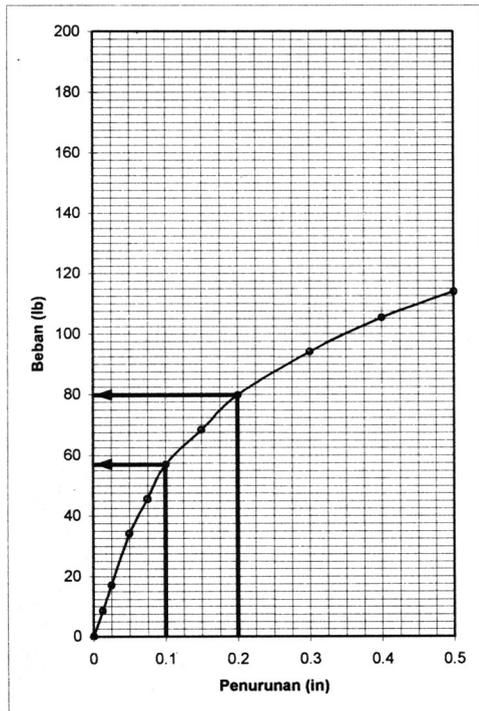
Penetrasi : 5.6950 Lb

Waktu (menit)	Penurunan (in)	Pembacaan Artoji		Beban (lb)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	0	0		0.0	
1/4	0.0125	1.5		8.5	
1/2	0.025	3		17.1	
1	0.05	6		34.2	
1 1/2	0.075	8		45.6	
2	0.10	10		57.0	
3	0.15	12		68.3	
4	0.20	14		79.7	
6	0.30	16.5		94.0	
8	0.40	18.5		105.4	
10	0.50	20		113.9	

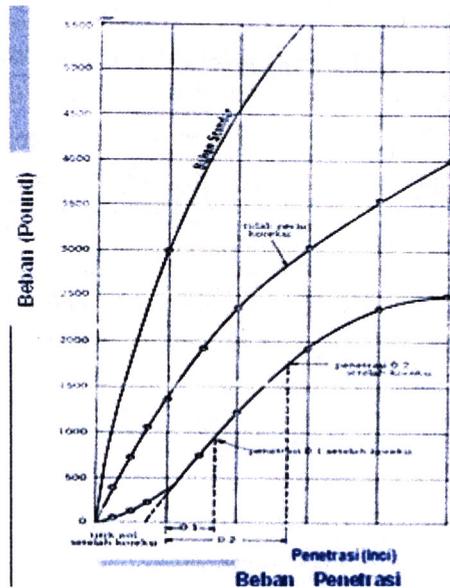
Nomor Cetakan : 2	Sebelum	Sesudah
Massa tanah + cetakan	10205	10495
Massa cetakan	6947	6947
Massa tanah basah	3258	3548
Isi cetakan	2227	2249
Berat isi basah	14.632	15.772
Berat isi kering	10.454	10.076

Kadar Air	Sebelum	Sesudah
Nomor Cawan	D3	C
Massa tanah basah + cawan	164.00	182.90
Massa tanah kering + cawan	133.42	130.60
Massa a i r	38.10	52.30
Massa cawan	38.10	38.09
Massa tanah kering	95.32	92.51
Kadar air	39.97	56.53

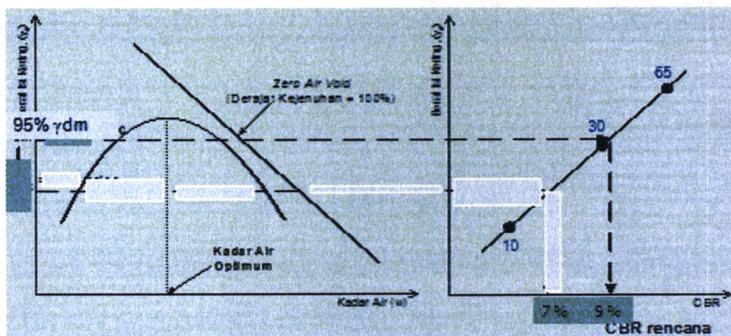
CBR	HARGA CBR	
	0.1 inch	0.2 inch
ATAS	56.95 x 100 3000	79.7 x 100 4500
	= (%) 1.90	= (%) 1.77
BAWAH	x 100 3000	x 100 4500
	= (%)	= (%)



Gambar 7.26 Contoh Grafik Pengujian CBR Laboratorium



Gambar 7.27 Uji CBR dan Beban Standar



Gambar 7.28 Nilai CBR Desain

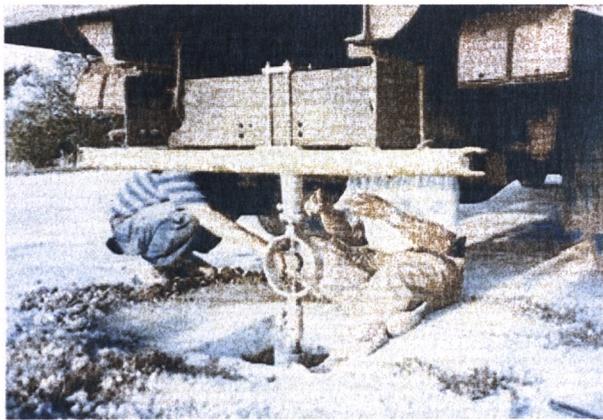
b) Pengujian CBR Lapangan

Pengujian CBR lapangan adalah pengujian yang dilakukan langsung di tempat ataupun dilakukan terhadap contoh tanah dalam cetakan yang diambil dari lapangan.

Pada prinsipnya pengujian CBR lapangan sama dengan pengujian CBR laboratorium, hanya sebagai penahan dongkrak (piston) digunakan truk yang diisi beban misalnya batu kali atau tanah.

Cara pemasangan peralatan untuk pengujian CBR lapangan adalah sebagai berikut:

- Tempatkan truk sehingga dongkrak CBR mekanis tepat di atas lubang yang akan diuji.
- Gunakan dongkrak truk untuk menaikkan truk supaya tidak bekerja di atas pernya.
- Usahakan as roda belakang sejajar dengan muka jalan yang diperiksa.
- Pasang dongkrak CBR dan alat lainnya supaya piston penetrasi berada 1 atau 2 cm di atas permukaan tanah



Gambar 7.29 Pengaturan Peralatan Pengujain CBR Lapangan

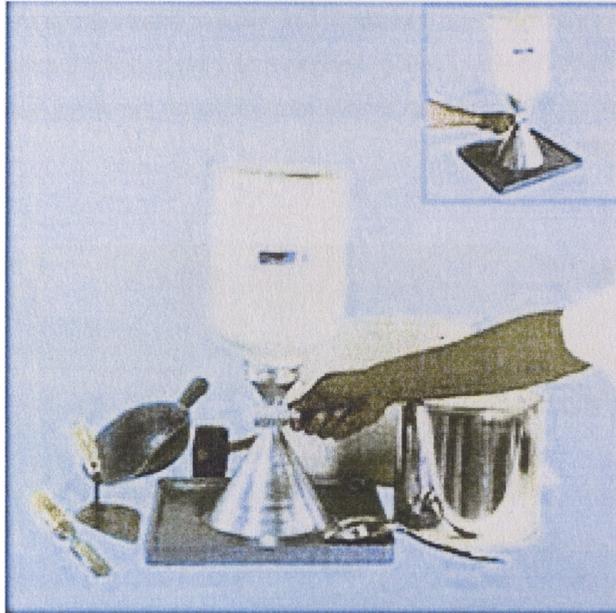
7.8 Kontrol Kepadatan dengan *Sand Cone*

Uji kontrol pemadatan di lapangan sebagai alat pengendalian mutu dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu pengujian destruktif dan non-destruktif.

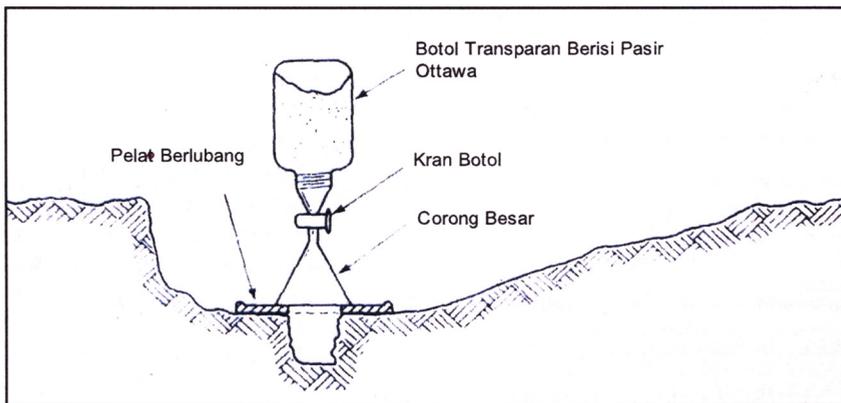
Cara destruktif melibatkan penggalian dan pengambilan sebagian tanah yang telah dipadatkan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat pengujian destruktif, yaitu:

- (1) Menggali lubang pada lapisan tanah yang telah dipadatkan dengan diameter dan kedalaman tertentu. Selanjutnya tentukan berat tanah yang digali.
- (2) Menentukan kadar air tanah yang digali
- (3) Menentukan volume galian dengan cara:
 - Metode Konus Pasir (lihat Gambar 7.30)

Menggunakan pasir Ottawa dengan berat isi kering tertentu sehingga dengan mengetahui berat pasir dapat dihitung volume pasir pengisi lubang (Gambar 7.31). Nilai yang diperoleh juga merupakan volume tanah yang digali.

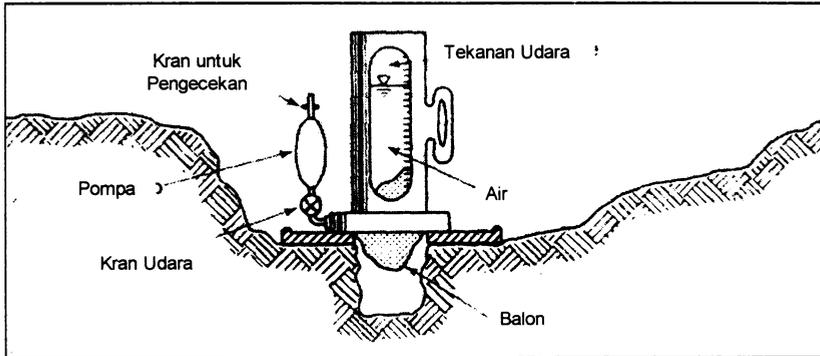


Gambar 7.30 Alat Pengujian Konus Pasir



Gambar 7.31 Pengujian Konus Pasir

- Metode Balon Karet (*Rubber Balloon*)
Menggunakan balon yang dikembangkan didalam lubang galian (lihat Gambar 7.32). Volume galian/volume tanah yang digali sama dengan volume balon.



Gambar 7.32 Pengujian Rubber Balloon

- Menggunakan air untuk mengisi lubang galian, dimana air yang digunakan berasal dari suatu tempat dengan berat tertentu. Dengan mengurangi berat asal dengan berat setelah pengisian lubang, maka dapat diketahui berat air yang mengisi lubang. Selanjutnya volume air yang mengisi lubang dapat diketahui dengan menganggap γ air = 1 gr/cm³.

7.9 Koreksi Kepadatan

Koreksi kepadatan laboratorium dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu,

- (1) Menggunakan rumus
- (2) Menggunakan grafik

7.9.1 Koreksi Kepadatan dengan Menggunakan Rumus

Koreksi kepadatan dengan menggunakan rumus dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- (1) Tentukan berat jenis curah (G_b) bahan berbutir kasar yang tertahan saringan No. 4 (4.75mm)
- (2) Hitung kepadatan maksimum terkoreksi dengan rumus:

$$\gamma_{dmk} = (1 - p) \gamma_{dm} + 0.9 p G_b$$

dimana

γ_{dmk} = kepadatan maksimum terkoreksi, gram/cc

γ_{dm} = kepadatan maksimum bahan berbutir yang lewat saringan No. 4 (4.75mm), gram/cc

- p = prosentase butir kasar yang tertahan saringan No.4
 G_b = berat jenis curah butir kasar yang tertahan saringan No.4 (4.75mm)

Atau dapat juga digunakan rumus berikut, yaitu:

$$\gamma_{dmk} = (r G_b \gamma_{dm}) / (r p \gamma_{dm} + (1 - p) G_b)$$

dimana:

- γ_{dmk} = kepadatan maksimum terkoreksi, gram/cc
 γ_{dm} = kepadatan maksimum bahan berbutir yang lewat saringan No. 4 (4.75mm), gram/cc
 p = prosentase butir kasar yang tertahan saringan No.4
 G_b = berat jenis curah butir kasar yang tertahan saringan No.4 (4.75mm)
 r = koefisien yang nilainya tergantung p, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.3 berikut ini

Tabel 7.3 Daftar Koefisien Nilai r

Koefisien r	p
1.00	<= 20
0.99	21 - 25
0.98	26 - 30
0.97	31 - 35
0.96	36 - 40
0.95	41 - 45
0.94	46 - 50
0.92	51 - 55
0.89	56 - 60
0.86	61 - 65
0.83	66 - 70

7.9.2 Koreksi Kepadatan dengan Menggunakan Grafik

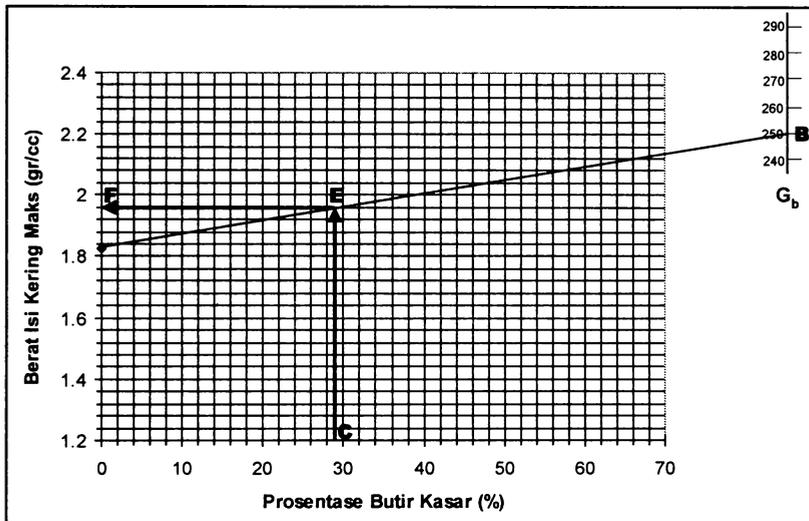
Untuk koreksi nilai kepadatan dengan menggunakan grafik, prosedur penentuan nilai koreksi untuk metode A-B dan metode C-D berbeda. Berikut ini akan diuraikan prosedur untuk metod A-B dan metode C-D.

7.9.2.1 Grafik untuk Metode A - B

Berikut ini adalah contoh koreksi kepadatan dengan menggunakan grafik untuk metode A – B (lihat grafik pada Gambar 7.33). Diketahui G_b = 2.5, γ_{dm} = 1.824 gr/cc, p = 29%, plot nilai tersebut dalam nomogram dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- (1) Plot γ_{dm} = 1.824 gr/cc pada sumbu y, diperoleh titik A

- (2) Plot $G_b = 2.5$, diperoleh titik B
- (3) Plot $p = 29\%$ pada sumbu x, diperoleh titik C
- (4) Hubungkan titik A dan B
- (5) Tarik garis vertikal dari titik C sehingga memotong garis A-B, diperoleh titik E
- (6) Tarik garis horizontal ke arah sumbu y, diperoleh titik F
- (7) Titik F adalah $\gamma_{dmk} = 1.945 \text{ gr/cc}$



Gambar 7.33 Nomogram Koreksi Kepadatan Bahan yang Mengandung Butir Kasar dengan Metode A dan B

Setelah nilai koreksi diperoleh, hitung apakah kepadatan lapangan masih memenuhi kriteria yang disyaratkan, misalnya 95% MDD. Berikut ini adalah ilustrasi aplikasi penggunaan nilai koreksi tersebut.

Diketahui :

1. γ_d lapangan (konus pasir) = 1.75 gr/cc
2. γ_{dm} = 1.824 gr/cc
3. γ_{dmk} = 1.945 gr/cc

(1) Bila tidak dilakukan koreksi, akan diperoleh nilai kepadatan lapangan adalah sebagai berikut

$$D = \frac{\gamma_d \text{ lap}}{\gamma_{dm}} \times 100\% = \frac{1.75}{1.824} \times 100\% = 96\% \geq 95\% \rightarrow \text{OK!}$$

(Nilai kepadatan lapangan yang diperoleh memenuhi syarat tersebut diatas)

(2) Setelah dilakukan koreksi, maka nilai kepadatan lapangan adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{\gamma_d \text{ lap}}{\gamma_{dm}} \times 100\% = \frac{1.75}{1.945} \times 100\% = 90\% \leq 95\% \rightarrow \text{TIDAK OK!}$$

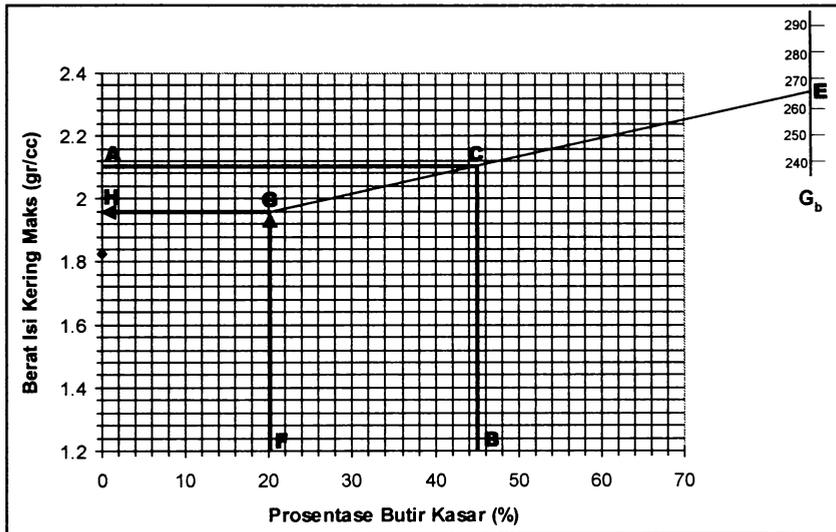
(Nilai kepadatan lapangan yang diperoleh tidak memenuhi syarat tersebut diatas)

Karena nilai D setelah dikoreksi tidak memenuhi syarat, maka untuk tindak lanjutnya dapat disarankan untuk menambah jumlah lintasan sehingga nilai D (hasil koreksi) \geq 95%.

7.9.2.2 Grafik untuk Metode C – D

Berikut ini adalah contoh koreksi kepadatan dengan menggunakan grafik untuk metode C – D (lihat grafik pada Gambar 7.34). Langkah-langkah untuk memperoleh nilai γ_{dmk} adalah sebagai berikut:

- (1) Plot $\gamma_{dm} = 2.106 \text{ gr/cc}$ pada sumbu y, diperoleh titik A
- (2) Plot persentase tertahan saringan No. 4 dilaboratorium = 45%, diperoleh titik B
- (3) Dari titik A dan titik B, diperoleh titik C
- (4) Plot $G_b = 2.5$, didapat titik E
- (5) Tarik garis C-E
- (6) Persentase tertahan saringan No. 4 dilapangan = 20%, diperoleh titik F
- (7) Tarik garis vertikal dari titik F sehingga memotong garis C-D, diperoleh titik G
- (8) Tarik garis horizontal ke arah sumbu y, diperoleh titik H
- (9) Titik H adalah $\gamma_{dmk} = 1.98 \text{ gr/cc}$



Gambar 7.34 Nomogram Koreksi Kepadatan Bahan yang Mengandung Butir Kasar dengan Metode C dan D

Seperti langkah-langkah pada metode A-B, maka setelah nilai koreksi diperoleh, dihitung apakah kepadatan lapangan masih memenuhi kriteria yang disyaratkan, misalnya 95% MDD. Berikut ini adalah ilustrasi aplikasi penggunaan nilai koreksi tersebut.

Diketahui :

1. γ_d lapangan (konus pasir) = 1.90 gr/cc
2. γ_{dm} = 2.106 gr/cc
3. γ_{dmk} = 1.98 gr/cc

(1) Bila tidak dilakukan koreksi, akan diperoleh nilai kepadatan lapangan adalah sebagai berikut

$$D = \frac{\gamma_d \text{ lap}}{\gamma_{dm}} \times 100\% = \frac{1.90}{2.106} \times 100\% = 90\% \leq 95\% \rightarrow \text{TIDAK OK!}$$

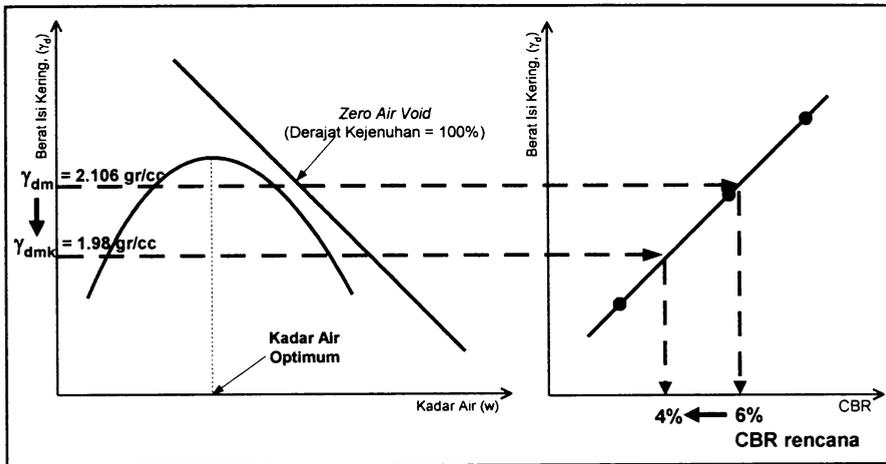
(Nilai kepadatan lapangan yang diperoleh tidak memenuhi syarat tersebut diatas)

(2) Setelah dilakukan koreksi, maka nilai kepadatan lapangan adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{\gamma_d \text{ lap}}{\gamma_{dm}} \times 100\% = \frac{1.90}{1.98} \times 100\% = 96\% \geq 95\% \rightarrow \text{OK!}$$

(Nilai kepadatan lapangan yang diperoleh memenuhi syarat tersebut diatas)

Walaupun D koreksi mencapai $\geq 95\%$, tetapi karena $\gamma_{dmk} = 1.98 \text{ gr/cc} \leq \gamma_{dm} = 2.106 \text{ gr/cc}$ berarti bahwa terjadi pengurangan nilai CBR rencana. Untuk itu perlu dilakukan pengecekan terhadap nilai CBR rencana, apakah dengan nilai $\gamma_{dmk} = 1.98 \text{ gr/cc}$, CBR rencana yang didapat masih sesuai dengan yang disyaratkan (lihat Gambar 7.35).



Gambar 7.35 Perubahan Nilai CBR Akibat Perubahan Nilai MDD

Dari ilustrasi diatas, terlihat bahwa tindakan koreksi adalah penting untuk dilakukan agar kepadatan lapangan yang disyaratkan dapat terpenuhi.

Daftar Pustaka

Das, B.M. 1998. *Principles of Geotechnical Engineering, Fourth Edition*. PWS-KENT Publishing Company, Boston, USA.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Panduan Geoteknik Jalan: Manajemen Pekerjaan Tanah untuk Jalan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 1 Petunjuk Umum. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 2 Manual Perencanaan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 3 Manual Pelaksanaan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2006. Panduan Geoteknik Jalan, Edisi II. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 2008. Modul Pelatihan, Spesifikasi Umum Departemen Pekerjaan Umum Bidang Geoteknik. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

DPU. (tidak bertanggal). Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan. Departemen Pekerjaan Umum (DPU). Bandung

DPU. 2010. Spesifikasi Umum. Departemen Pekerjaan Umum (DPU). Jakarta.

DPU-JICA. 2006. Seri Panduan Pemeliharaan Jalan Kabupaten: Teknik Bahan Perkerasan Jalan, Edisi II. Departemen Pekerjaan Umum (DPU). Bandung.

DPU-JICA. 2006. Seri Manajemen Pekerjaan Tanah untuk Jalan: Panduan Geoteknik Jalan, Edisi II. Departemen Pekerjaan Umum (DPU). Bandung.

Head, K.H. 1981. *Manual of Soil Laboratory Testing: Classification Test, Volume 1*. Pentech Press. London.



PUSAT PENELITIAN
DAN PENGEMBANGAN
JALAN DAN
JEMBATAN

KEMENTERIAN

PEKERJAAN UMUM

