STABILITAS TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN LIMBAH PADAT PABRIK KERTAS TERHADAP KUAT GESER TANAH

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Nama : KHANIF AULIA
NIM : 5150403004
Jurusan/Prodi : Teknik Sipil S1
Fakultas : Teknik

PERPUSTAKAAN UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2008

ABSTRAK

Lempung sering menjadi masalah dalam pelaksanaan pembangunan jalan raya di Penawangan Grobogan. Pembangunan jalan tersebut memiliki badan jalan lebih tinggi sehingga sering terjadi longsor. Kerusakan ini dapat dsebabkan oleh sifat tanah yang buruk yaitu plastisitasnya tinggi dan kohesinya rendah.

Penelitian ini dilakukan dengan cara stabilisasi tanah lempung. Pengujian menggunakan tanah lempung diambil dari Penawangan Kabupaten Grobogan dengan bahan stabilisasi limbah padat pabrik kertas yang diambil dari PT. PAPERTECH Magelang Jawa Tengah. Penelitian dengan perbandingan campuran bahan stabilisasi limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10%, dan 15% serta dengan masa pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Penelitian ini meliputi sifat fisik dan mekanik tanah lempung ditinjau dari uji geser langsung *(Direct Shear).* Data yang diperoleh dari kegiatan penelitian dianalisis secara deskriptif yang dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik-grafik hubungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah lempung dari Penawangan Kabupaten Grobogan memiliki berat jenis 2,68 dengan penambahan limbah padat pabrik kertas hingga 15% mengalami penurunan batas cair sampai 58,40%, batas plastis naik sampai 44,74%, indeks plastisitas turun sampai 13,66%, batas susut naik sampai 17,16% dan fraksi lempung turun menjadi 71,40%. Penambahan limbah padat pabrik kertas sampai 15%, mengubah sistem *Unified* jenis tanah berubah dari kelompok H menjadi MH atau OH, sedangkan menurut sistem AASHTO jenis tanah tidak mengalami perubahan. Nilai kohesi (c) pada semua penambahan limbah padat pabrik kertas sampai 10% dengan pemeraman 7 hari mengalami penurunan sedangkan sudut geser (φ) mengalami peningkatan. Pada penambahan limbah padat pabrik kertas lebih dari 10% dan masa pemeraman 7 hari, nilai kohesi (c) mulai mengalami peningkatan kembali dan sudut geser (φ) mulai menurun kembali.

Kata kunci : stabilitas lereng, limbah pabrik kertas, kuat geser

LEMBAR PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada :

Hari :

Tanggal :

Panitia Ujian,
Ketua

Nur Qudus, S.Pd., MT

Penguji I,

Drs. Lashari, MT.
NIP. 131471402

Penguji II,

Dr. Ir. Hary Christady H., M.Eng.,DEA.
NIP. 131649896

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Drs. Abdurrahman, M.Pd.
NIP. 131476651

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Universitas Negeri Semarang

Ir. Agung Sutarto
NIP. 131931831

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul **"Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Limbah Padat Pabrik Kertas terhadap Kuat Geser".**

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih pula kepada :

1. Drs. Abdurrahman, M.Pd., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Ir.H. Agung Sutarto, MT., Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ir. Nur Qudus, MT., Ketua Prodi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Lashari, MT., dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingan hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Ir. Hary Christady H., M.Eng., DEA., dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen serta staf karyawan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

7. Bapak dan Ibu yang telah merawat, membesarkan, menyayangi, serta memberikan pendidikan yang sangat berharga bagi penulis, dan terima kasih untuk semuanya. Bapak dan Ibu adalah orang tua paling baik sedunia.
8. Seluruh keluargaku yang telah memberikan bantuan untuk kemajuan penulis dan senantiasa memberikan dorongan sekaligus motivasi yang bermanfaat bagi penulis.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan moril maupun materiil sehingga dapat terwujud skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun bagi penulis diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Semarang, Maret 2008

Penulis

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Persembahan :

Skripsi ini kupersembahkan kepada :

1) Kedua orang tuaku yang selalu memberikan perhatian dan kasih sayangnya.
2) Adikku Nan tersayang yang selalu memberi motivasi kepadaku
3) Teman-temanku yang telah memberiku semangat

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL I

ABSTRAK II

HALAMAN PENGESAHAN III

KATA PENGANTAR IV

MOTTO DAN PERSEMBAHAN VI

DAFTAR ISI VII

DAFTAR TABEL IX

DAFTAR GAMBAR X

DAFTAR LAMPIRAN XI

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang 1

B. Batasan Masalah 4

C. Perumusan Masalah 4

D. Tujuan Penelitian 5

E. Manfaat Penelitian 5

F. Penegasan Istilah 6

G. Sistematika skripsi 7

BAB II LANDASAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS 9

A. Tanah 9

B. Klasifikasi Tanah 10

C. Sifat Fisik Tanah 18

D. Lempung 22

E. Stabilisasi Tanah 27

F. Limbah Padat Pabrik Kertas 29

G. Stabilisasi Tanah dengan limbah padat pabrik kertas 30

H. Konsolidasi tanah 31

I. Hipotesis 44

BAB III METODE PENELITIAN 45
A. Bahan Penelitian 45
B. Rancangan Penelitian 46
C. Pelaksanaan Penelitian 46
D. Jenis-jenis Pengujian 48
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 73
A. Hasil Penelitian 73
B. Pembahasan 78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 92
A. Kesimpulan 92
B. Saran 93
DAFTAR PUSTAKA 94
LAMPIRAN-LAMPIRAN 95

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Kelompok Tanah dengan Simbol Perfiks dan sufiks 10
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*..... 12
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO..... 15
Tabel 2.4 Nilai-nilai berat jenis..... 19
Tabel 2.5 Nilai Indeks Plastis dan Macam Tanah 21
Tabel 2.6 Jenis Meneral Lempung dan Nilai aktifitasnya..... 26
Tabel 3.1 Variasi Penenlitian 46
Tabel 4.1 Karakteristik Tanah 73
Tabel 4.2 Berat Jenis Tanah dan LPPK 74
Tabel 4.3 Batas Konsistensi Campuran Tanah dan LPPK 75
Tabel 4.4 Analisis Gradasi Butiran Tanah Campuran LPPK..... 75
Tabel 4.5 Tingkat Kepadatan Optimum Tanah 76
Tabel 4.6 Nilai T_{90} pada Tekanan 8 kg/cm^2 76
Tabel 4.7 Nilai CV pada Tekanan 8 kg/cm^2..... 77
Tabel 4.8 Nilai MV pada Tekanan 8 kg/cm^2..... 77
Tabel 4.9 Nilai e pada Tekanan 8 kg/cm^2..... 78
Tabel 4.10 Nilai CC..... 78

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1(a) Elemen Penyusun Tanah 18
Gambar 2.1(b) Tiga Elemen Tanah 18
Gambar 2.2 Struktur Lempung 23
Gambar 2.3 konsolidometer 33
Gambar 2.4 Grafik Waktu Pemampatan 34
Gambar 2.5 Perubahan Tinggi Contoh Tanah pada Uji Konsolidasi 35
Gambar 2.6 Bentuk Grafik *e* Versus Log P 37
Gambar 2.7 Variasi Angka pori Terhadap Tekanan 37
Gambar 2.8 Grafik Versus Log P 39
Gambar 2.9 Metode Logaritma Waktu untuk Menentukan Koefisen Konsolidasi 41
Gambar 2.10 Metode Akar Waktu 42
Gambar 2.11 Indeks Pemampatan 43
Gambar 3.1(a) Sampel Tanah 45
Gambar 3.1(b) Lokasi Pengambilan Sampel 45
Gambar 3.2 Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian 47
Gambar 3.3 Alat Uji Kadar Air 48
Gambar 3.4 Alat Uji Berat Jenis 50
Gambar 3.5 Alat Uji Batas Cair 53
Gambar 3.6 Alat Uji Batas Plastis 55
Gambar 3.7 Alat Uji Batas Susut 58
Gambar 3.8 Alat Uji Distribusi Ukiran Butir 61
Gambar 3.9 Alat Uji Analisis Hidrometer 63
Gambar 3.10 Alat Uji Proktor 67
Gambar 3.11 Alat Uji Konsolidasi 70
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Batas Konsistensi Tanah 81

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Sifat Fisik Tanah Sifat Fisik Tanah Berdasarkan Sistem AAHTO..... 82
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Sifat Fisik Tanah Sifat Fisik Tanah Berdasakan Sistem Unfied..... 82
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Kandugan Pasir dan Lanau 84
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Berat Isi Kering..... 85
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Nilai T_{90} 86
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Nilai CV..... 87
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan Nilai MV..... 88
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dengan *e* 89
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Penambahan LPPK dan Masa Pemeraman Terhadap Indeks Konsolidasi 90

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Berat jenis tanah dan limbah padat pabrik kertas 95
Atterberg limits (tanah + 0% LPPK)..... 96
Atterberg limits (tanah + 5% LPPK)..... 97
Atterberg limits (tanah + 10% LPPK)..... 98
Atterberg limits (tanah + 15% LPPK)..... 99
Grain size anlysis (tanah + 0% LPPK)..... 100
Grain size anlysis (tanah + 5% LPPK)..... 101
Grain size anlysis (tanah + 10% LPPK)..... 102
Grain size anlysis (tanah + 15% LPPK)..... 103
Pemadatan (0% LPPK, pemeraman 0 hari) 104
Pemadatan (5% LPPK, pemeraman 0 hari) 105
Pemadatan (10% LPPK, pemeraman 0 hari) 106
Pemadatan (15% LPPK, pemeraman 0 hari) 107
Uji konsolidasi (0% LPPK, pemeraman 0 hari)..... 108
Uji konsolidasi (0% LPPK, pemeraman 3 hari)..... 112
Uji konsolidasi (0% LPPK, pemeraman 7 hari)..... 116
Uji konsolidasi (5% LPPK, pemeraman 0 hari)..... 120
Uji konsolidasi (5% LPPK, pemeraman 3 hari)..... 124
Uji konsolidasi (5% LPPK, pemeraman 7 hari)..... 128
Uji konsolidasi (10% LPPK, pemeraman 0 hari)..... 132
Uji konsolidasi (10% LPPK, pemeraman 3 hari)..... 136
Uji konsolidasi (10% LPPK, pemeraman 7 hari)..... 140
Uji konsolidasi (15% LPPK, pemeraman 0 hari)..... 144
Uji konsolidasi (15% LPPK, pemeraman 3 hari)..... 148
Uji konsolidasi (15% LPPK, pemeraman 7 hari)..... 152

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sasaran utama pembangunan jangka panjang di Indonesia adalah menciptakan landasan yang kuat bagi bangsa Indonesia untuk tumbuh clan berkembang atas kekuatannya sendiri menuju masyarakat adil makmur berdasarkan Pancasila. Titik berat pembangunan bidang ekonomi, bidang teknologi dan bidang industri adalah menunjang bagian sektor antara lain sektor perdagangan, sektor industri jasa dan sektor pariwisata.

Seiring dengan meningkatnya kegiatan pembangunan tersebut, maka diperlukan sarana dan prasarana pendukung baik secara kualitas maupun secara kuantitas. Jalan raya dan jalan kereta api adalah sebagian dari prasarana pendukung yang sangat penting. Dalam pelaksanaan pembangunan jalan raya dan jalan kereta api, ada kalanya harus melalui suatu daerah yang kondisi tanahnya secara struktur tidak mampu mendukung beban-beban yang bekerja di atasnya dengan baik. Tanah tersebut pada awalnya tidak layak untuk digunakan jika ditinjau dari segi ekonomi karena membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan pembangunan di atas tanah yang mampu mendukung beban dengan baik. Untuk menekan biaya pada pembangunan jalan raya dan jalan kereta api di atas tanah tersebut, banyak ahli geoteknik mengatasinya dengan cars merubah sifat tanah sehingga tanah tersebut dapat mendukung beban dengan baik.

Dari berbagai jenis tanah yang terdapat di Indonesia, tanah lempung cukup banyak dijumpai. Berdasarkan konsistensinya tanah lempung dibagi menjadi beberapa jenis yaitu lempung keras *(hard clay)*, lempung sangat kaku *(very stiff clay)*, lempung kaku (stiff *clay)*, lempung sedang *(medium clay)*, lempung lunak (soft *clay)*, dan lempung sangat lunak *(very soft clay)*. Dari jenis-jenis tanah lempung tersebut, tanah lempung lunak (soft *clay)* sering menimbulkan masalah dalam peker aan sipil, khususnya dalam pekerjaan pembangunan jalan rays dan jalan kereta api yang salah satunya adalah tanah di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah.

Mengingat stuktur tanah di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah merupakan tanah lempung yang memiliki sifat plastisitas tinggi dimana pada kondisi kadar air tententu bentuknya dapat berubah tanpa diikuti oleh perubahan isi dan sifat kohesifitas yang rendah yaitu days lekat antar partikel-partikel tanah lempung yang lemah sehingga mengakibatkan badan jalan menjadi retak-retak ataupun bergelombang. Selain ditunjukkan dari kondisi jalan yang sering kali rusak, buruknya sifat tanah di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah jugs dapat dilihat dari kondisi bangunan di wilayah tersebut yang cepat rusah seperti kondisi lantai mengalami penurunan secara cepat setelah beberapa saat dibangunan ataupun kondisi dinding yang retak-retak akibat adanya penurunan pondasi yang tidak merata.

Untuk mengatasi masalah tanah lempung di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah tersebut, pihak DPU Kabupaten Grobogan melakukan usaha memperbaiki kualitas perkerasan jalan dengan dilakukan

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

pembetonan pada titik-titik tertentu, akan tetapi usaha tersebut tidak sepenuhnya berhasil. Walaupun sudah dilakukan pembetotanan tetapi belum mampu mendukung beban di atasnya sehingga banyak titik-titik tertentu yang sudah dilakukan pembetonan rusak kembali.

Melihat fenomena tersebut peneliti tertarik melakukan usaha stabilisasi tanah lempung lunak di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah dengan memperbaiki sifat fisik dan merubah sifat mekaniknya melalui pencampuran bahan tambah berupa limbah padat pabrik kertas pada persentase tertentu. Menurut Bowles (1991), sampai saat ini, bahan tambah yang biasa dipakai antara lain : semen, kapur, abu batu bara, semen aspal dan limbah pabrik kertas. Beberapa jenis dari bahan campur di atas adalah produk sampingan dari suatu industri, yaitu abu batu bara sebagai hasil sampingan dari pabrik batu bara dan limbah pabrik kertas sebagai produk sisa dari proses pembuatan kertas.

Dipilihnya bahan tambah limbah pada pabrik kertas sebagai bahan stabilisasi jalan di wilayah Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah dikarenakan seiring dengan perkembangan sektor industri di Indonesia, maka banyak didirikan pabrik-pabrik untuk menunjang sektor tersebut yang salah satunya adalah pendirian pabrik kertas. Dengan didirikannya pabrik kertas dengan sendirinya akan menimbulkan dampak terhadap lingkungan, karena limbah yang dihasilkan oleh pabrik-pabrik tersebut memerlukan tempat pembuangan tersendiri. Untuk itu, penyusun mencoba memanfaatkan salah satu limbah yang dihasilkan yaitu limbah padat pabrik kertas sebagai bahan pencampur pada stabilisasi tanah untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Dengan

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

demikian keberhasilan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat ganda dimana di satu sisi dapat mengatasi kualitas jalan di Penawangan, Grobogan, Jawa Tengah yang memiliki struktur tanah buruk dan di sisi lain dapat mengatasi pencemaran lingkungan dari sisa produksi pabrik kertas. Tolok ukur yang peneliti gunakan untuk melihat pengar(ih penambahan limbah padat pabrik kertas terhadap kualitas tanah lempung adalah melalui uji fisik dan uji mekanik menggunakan uji geser langsung *(Direct Shear).*

1.2 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan dan keterbatasan kemampuan, waktu dan biaya, maka dilakukan pembatasan sebagai berikut:

1. Tanah yang diteliti adalah jenis tanah yang memiliki stabilitas yang rendah ditunjukkan dari nilai kuat geser yang rendah diambil dari dekat bahu jalan daerah Penawangan Kabupaten Grobogan dengan ketebalan antara 50-100 Cm.
2. Bahan stabilisasi limbah padat pabrik kertas diambil dari pabrik kertas PT. PAPERTECH Magelang Jawa Tengah.
3. Penelitian terbatas pada pengaruh penambahan limbah pada pabrik kertas pada sifat fisik tanah meliputi kadar air, berat jenis, batas atterberg, analisis gradasi butiran dan sifat mekanik tanah dengan uji geser langsung *(Direct Shear).*

1.3 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Pengaruh penambahan bahan stabilisasi limbah pada pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari terhadap sifat fisik tanah lempung.
2. Pengaruh penambahan bahan stabilisasi limbah pada pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari terhadap sifat mekanik tanah lempung ditinjau dari uji geser langsung *(Direct Shear).*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah lempung sebelum dan sesudah pencampuran limbah padat pabrik kertas yang terdiri dari

1. Mai berat jenis (Gs)
2. Batas-batas konsistensi *(atterberg limit)*
3. Gradasi butiran tanah
4. Kepadatan tanah
5. Kuat geser tanah

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat timbal batik antara perusahaan pabrik kertas, lingkungan fisik dan ilmu teknik sipil. Jika limbah ini dapat dipakai sebagai stabilisator pada tanah lempung lunak, maka dapat:

1. Menambah pilihan bahan pencampur untuk stabilitas tanah dasar terutama kestabilian jalan pada pembangunan jalan rays dan jalan kereta api.
2. Membantu pemerintah dalam menjaga keserasian lingkungan, dengan memanfaatkan limbah pada pabrik kertas sebagai basil sampingan dari produk dalam negeri.
3. Sebagai pengembangan pada disiplin ilmu teknik sipil khususnya dalam bidang geoteknik.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

A. Tanah

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang ikatan antar partikelnya lemah atau tidak memiliki ikatan antar partikel, yang terbentuk karena pelapukan batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space)* yang berisi air atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang bersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil pelapukan tersebut di atas tetap berada di tempat semula, maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa *(residual-soil)*. Pelapukan yang terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan *(tranportation soil)*, (Craig, 1991).

Secara umum tanah dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu tanah berkohesif dan tanah tak berkohesif. Tanah berkohesif adalah tanah yang mempunyai karakter fisisnya selalu mendapat pembasahan dan pengeringan yang menyusul butiran tanah yang bersatu sesamanya sehingga gaya akan diperlukan untuk memisahkan dalam keadaan kering, contoh lempung. Tanah tak berkohesif adalah butiran-butiran terlapis sesudah dikeringkan dan hanya melekat apabila dalam keadaan basah akibat daya tarik permukaan butiran di dalam air, contohnya tanah berpasir, (Bowles, 1991).

B. Klasifikasi Tanah

Sistem kalsifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah. Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai perilaku dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah - tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan satu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi-kondisi fisis yang lain (Dunn,1991).

Berikut ini merupakan sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan dalam bidang teknik sipil :

1. Sistem Klasifikasi *Unified* (*Unified Soil Clasifikation System*)

   Sistem klasifikasi ini mengelompokkan tanah dengan menggunakan simbol prefiks untuk menunjukkan sub devisi di dalam kelompok, seperti terlihat pada **tabel 2.1**

Tabel 2.1 Kelompok Tanah dengan Simbol Prefiks dan Sufiks

Jenis tanah	Prefiks	Sub kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
Pasir	S	Gradasi buruk	P
Lanau	M	Berlanau	M
Lempung	C	Berlempung	C
Organik	O	W_L > 50 persen	L
Gambut	Pt	W_L > 50 persen	H

Sistem ini mengelompokkan tanah dalam dua kelompok besar, yaitu:

a. Tanah berbutir kasar, yaitu tanah kerikil dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil *(gravel)* atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

b. Tanah berbutir halus, yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol untuk kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau *(silt)* anorganik, C untuk lempung *(clay)* anorganik, dan 0 untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (peat), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk sub kelompok yaitu:

W = tanah dengan gradasi baik *(well graded)*

P = tanah dengan gradasi buruk *(poorly graded)*

L = plastisitas rendah, w_L<50 *(low plastycity)*

H = plastisitas tinggi, w_L > 50 *(high plasticity)*

Bila persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 berada diantara 5 % sampai dengan 12 % simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas yang diberikan dalam **Tabel 2.2**

PERPUSTAKAAN
UNNES

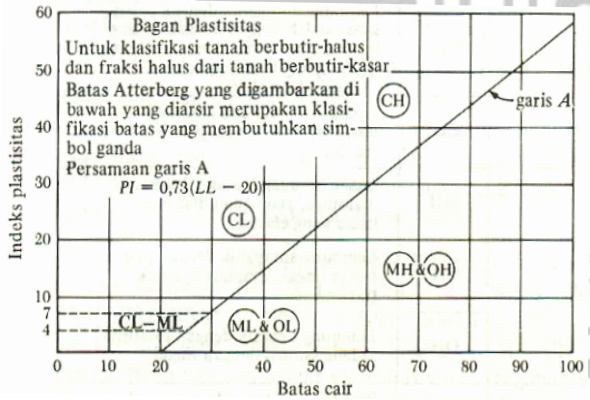
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil--lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lanau
	dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir Bersih (hanya kerikil)	SW	Pasir bergradasi baik dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-pasir lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-pasir-lanau
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair 50% atau kurang		ML	Lanau organik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung organik dengan pastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lampung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (lean clays)
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organic dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung Batas cair lebih dari 50%		MH	Lanau-organik atau pasir halus diatomae atau lanau diatomae, lanau yang elastis
			CH	Lempung anorganik dengan pastisitas tinggi, lempung “gemuk” (fat clays)
			OH	Lempung organik dengan pastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Sumber : Das (1991)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG PERPUSTAKAAN UNNES

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (lanjutan)

Klasifikasi berdasarkan presentasi butiran halus Kurang dari 5 % lolos ayakan no. 200 GW. GP. SW. SP Lebih dari 12 % lolos ayakan no. 200 GM. GC. SM. SC 5 % sampai 12 % lolos ayakan no. 200 klasifikasi perbatasan Yang menggunakan dua simbol	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari $4 \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau *PI* < 4	Batas-batas Atterberg yang di gambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda.
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau *PI* > 7	
	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau *PI* < 4	Batas-batas Atterberg yang di gambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda.
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau *PI* > 7	
	Batas Cair LL (%) Garis A : PI = 0,73 (LL-20)	
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488		

Sumber : Das (1991)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO *(American Association of state Higway and Transpormation Officials}* yang membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-l sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade.*

Tabel 2.3 memperlihatkan sistem klasifikasi AASHTO tampak terdiri dari kelompok A-l sampai A-7 dengan dua sub kelompok dalam A-l, empat sub kelompok A-2 dan dua sub kelompok A-7 dengan jumlah 12 sub kelompok. Sedangkan sub kelompok A-8 tidak diperlihatkan, tetapi merupakan gambut yang ditentukan berdasaran klasifikasi visual. Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan dalam kelompok A-l sampai dengan A-2.

PERPUSTAKAAN
UNNES

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (Das, 1991)

Kasifikasi Umum	**Tanah berbutir (Contoh tanah lolos saringan no. 200 < 35%)**							**Tanah lanau – lempung (Contoh tanah lolos saringan No. 200 > 35%**			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6**
Analisis saringan (% lolos)											
No. 10	Maks 50										
N0. 40	Maks 30	Maks 50									
No. 200	Maks 15	Maks 25	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos saringan No. 40											
Batas cair (LL)				Maks 40	Maks 41	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Maks 41
Indeks plastis (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Maks 11	Maks 11	Maks 10	Maks 10	Maks 11	Maks 11
Tipe mineral yang paling dominan	Batu pecahan, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

* Untuk A-7-5, PI $\leq$ LL – 30

* Untuk A-7-5, PI > LL - 30

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

A-l, adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil, pasir kasar, pasir halus yang bergradasi baik mempunyai plastisitas yang sangat kecil atau tidak sama sekali. Sub kelompok A-l-a yang dapat mengandung kerikil yang cukup banyak merupakan bahan yang bergradasi lebih besar dari pada A-l-b yang terutama terdiri dari pasir kasar. Kelompok ini mempunyai sejumlah kecil plastisitas Ip<6.

A-2, adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil dan atau pasir dengan tanah berbutir halus di bawah 35%, merupakan batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir ,halus. Sub kelompok A-2-4 dan A-2-5 adalah bahan yang tidak lebih dari 35%, lebih halus dari saringan No.200, mempunyai karakteristik plastisitas dari kelompok A-6 dan A-7.

A-3. adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus yang relatif seragam, dapat juga dari pasir halus bergradasi buruk dengan sebagian kecil pasir kasar dan kerikil, merupakan bahan yang tidak plastis.

Bahan lanau dan lempung berada pada kelompok A-4 sampai A-7 yang merupakan kelompok tanah berbutir halus yang lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 yang sangat ditentukan oleh sifat plastisitas tanah, yang dapat diplotkan ke dalam gambar 2.4.

A-4, adalah kelompok tanah lanau dengan plastisitas rendah.

A-5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung tanah plastis, sehingga tanahnya lebih plastis dari pada A-4.

A-6, adalah kelompok lempung yang mengandung pasir dan kerikil, yang masih mempunyai sifat perubahan volumenya besar.

A-7, adalah kelompok lempung yang bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume yang cukup besar. Kelompok tanah A-7 dibagi atas, A-7-5 apabila $Ip<(w_L-30)$ dan A-7-6 apabila $Ip>(w_L-30)$.

A-8, adalah gambut (sangat organis) atau rawang (tipis, sangat berair dengan bahan organis yang cukup banyak) dan diidentifikasi lewat pemeriksaan terhadap deposit.

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

$$GI = (F-35)[0,2+0,005\ (w_L-40\ )]+0,01(F-15K\ Ip-10)$$

dengan

GI = indeks kelompok *(group index)*

F = material lolos saringan no. 200 (%)

WL = batas cair (%)

Ip = indeks plastisitas (%)

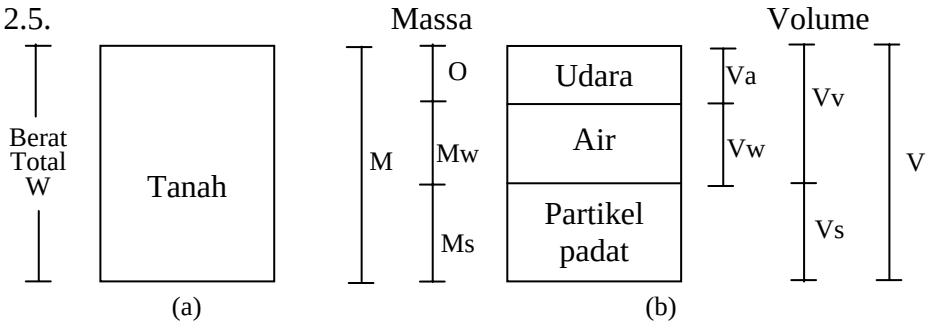
(Dunn, 1992)

Pada umumnya makin besar nilai indeks kelompoknya, makin kurang baik nilai kelompok tersebut untuk dipakai dalam pembangunan jalan raya maupun jalan kereta api, untuk tanah-tanah dalam sub kelompok itu, Bowles (1991).

C. Sifat Fisik Tanah

1. Kadar air

Kadar air (W) adalah perbandingan berat isi dengan berat butiran padat dari volume yang diselidiki. Adapun bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan gambar 2.5.



Gambar 2.1 (a) Elemen penyusun tanah dalam keadaan asli, (b) Tiga elemen tanah
Sumber : Craig (1991)

Adapun nilai kadar air *(water content)* dapat dihitung dengan rumus :

$$w = \frac{Mw}{Ms} \times 100\%$$

Dengan :

w = kadar air (%)

Mw = massa air (gram)

Ms = massa butiran tanah (gram)

2. Berat jenis

Harga berat spefisik dari butiran tanah (bagian padat) dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan seperti perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga tersebut dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Berat spesifik atau jenis dalam mekanika tanah diartikan

PERPUSTAKAAN UNNES

sebagai rasio antar berat unit zat padat dengan berat unit cair, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$Gs = \frac{Mw}{Vs \,.\, Tw}$$

dengan :

Gs = berat jenis (gram/cm^3)

Ws = berat butir padat (gram)

Vs = volume butir padat (cm^3)

Tw = berat air pada volume air pada temperatur 4^0C

Menurut Hardiyatmo (1992), berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis 2,67 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi, sedang untuk tanah berkohesi berkisar antara 2,68 sampai 2,72.

Tabel 2.4 Nilai-nilai berat jenis

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau tak organic	2,62 – 2,68
Lempung organic	2,58 – 2,65
Lempung tak organic	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

3. Batas konsistensi

Tanah lempung mempunyai ciri jika diremas-remas (*remoulded)* tidak menimbulkan retak-retak. Sifat kohesi ini disebabkan karena adanya air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung (Das, 1991).

Atterberg (1911) dalam Bowles (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan airnya, batas-batas tersebut antara lain:

1. Batas cair *(liquid limit)*, W_L.

   Kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis atau batas atas dari keadaan plastis. Pada uji laboratorium, batas cair didefinisikan sebagai kadar air hasil 25 kali pukulan untuk menutup celah *(groove)* standar yang dibuat tanah sepanjang 12,7 mm.

2. Batas plastis *(plastis limit)*, Wp.

   Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis, yaitu persentase kadar air tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 1992).

3. Indeks plastis

   Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau $Ip = w_L - Wp$

   Dengan :

   Ip = indek plastis

   w_L = batas cair

   wp = batas plastis

Ip merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis dan dapat juga menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika interval

keplastisan kadar air kecil maka disebut tanah kurus dan sebaliknya disebut tanah gemuk, batasan tentang indeks plastisitas, sifat dan macam tanah serta kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam tabel 2.5..

Tabel 2.5 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

Ip	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Nonplastisitas	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Hardiyanto (1992)

4. Batas susut (shrinkage *limit*), wg.

Batas susut merupakan nilai kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan = 100%, jadi untuk nilai-nilai di bawah ini tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus. Batas ini cukup penting di daerah kering dan untuk jenis tanah tertentu yang mengalami perubahan volume yang cukup besar dengan berubahnya kadar air. Batas susut dinyatakan dengan persamaan.

$$w_S = \left(\frac{W1 - W2}{V2} - \frac{(V1 - V2)\,Tw}{W2}\right) x\,100\%$$

dengan :

W1 = berat tanah basah (gram)

W2 = berat tanah kering oven (gram)

V1 = volume tanah basah (cm^3)

V2 = volume tanah kering oven (cm^3)

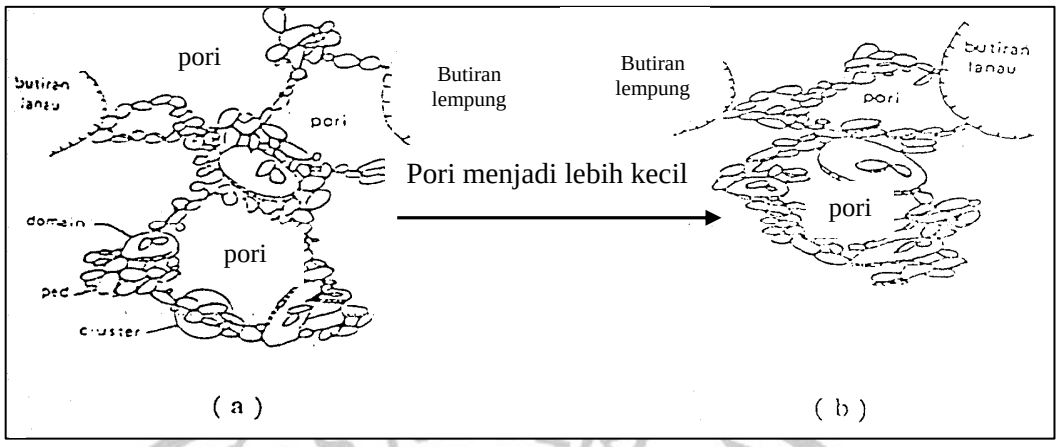
TW = berat isi air (gram/cm3)

PERPUSTAKAAN UNNES

D. Lempung

Lempung merupakan partike1-partike1 berukuran mikroskopik sampai submikroskopik yang berasal dari pelapukan kimiawi batuan. Lempung bersifat plastis pada kadar air sedang, dalam keadaan kering lempung sangat keras dan tidak mudah dikelupas hanya dengan jari (Soekoto, 1984).

Lempung mempunyai beberapa sifat yang membedakannya dengan tanah lain yaitu ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm), permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, serta proses konsolidasinya bersifat lambat. Berbagai studi akhir mengenai lempung dengan mempergunakan scanning electron microscope (SEM) memperlihatkan bahwa masing-masing partikel berkelompok atau berfokulasi bersama-sama dalam suatu satuan struktur sub-mikroskopis yang disebut domain, hal ini ditunjukkan oleh berbagai peneliti (Collin, 1973 dalam Bowles, 1991). Domain-domain tadi berkelompok dan membentuk kelompok yang juga submikroskopis disebut cluster, pengelompokan ini terjadi karena adanya gaya antar partikel yang bekerja pada satuan-satuan dasar yang kecil, cluster ini berkelompok lagi membentuk ped dengan ukuran mikroskopis, ped ini pada keadaan makro struktur lainnya membentuk struktur tanah berstruktur makro.



Sumber : Bowles (1991)

Gambar 2.2 Struktur Lempung ((a) Lempung asli sebelum mendapat tekanan (b) Lempung yang telah mendapat tekanan)

Pada gambar 2.2.a lempung terdiri dari sedimen yang *porous* dan berflokulasi serta bercampur dengan butir-butir lanau, pada susunan partikel-partikelnya banyak rongga-rongga udara yang berukuran relatif besar dibanding dengan ukuran butir-butir tanah itu sendiri, dengan demikian mengakibatkan lempung akan mudah mengalami penurunan awal yang besar apabila menerima beban (tekanan). Sedangkan pada gambar 2.2.b tampak jelas posisi *cluster, domain* dan *pad* menjadi lebih sejajar dan semula terpisah-pisah, disebabkan tanah tersebut mendapatkan pembebanah atau tekanan.

1. Karakteristik Tanah Lempung

a. Hubungan antar plastisitas dengan dehidrasi

Partikel lempung hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi lapisan-lapisan air teradsorbsi, lapisan ini umumnya mempunyai tebal 2 molekul dan

disebut lapisan difusi, daya ikatnya terhadap air kuat sehingga berprilaku lebih padat dari pada benda cair, (Bowles, 1991).

Apabila lapisan difusi ini mengalami dehidrasi pada temperatur yang rendah dibawah temperatur matahari, pada umumnya plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan penambahan air secukupnya, namun jika dehidrasi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur sinar matahari, maka sifat plastisitasnya akan berkurang dari plastisitas semula secara permanen

b. Hubungan antara plastisitas dan fraksi lempung

Ketebalan air mengelilingi butiran lempung tergantung dari macam mineralnya, jadi plastisitas lempung tergantung dari sifat mineral lempung yang ada pada butirannya dan jumlah mineralnya (Hardiyatmo, 1992).

Menurut Skempton (1953) dalam Hardiyatmo (1992), berdasarkan pengujian laboratorium pada beberapa tanah diperoleh bahwa indeks plastisitas berbanding langsung dengan persen ukuran lempung (yaitu persen dari berat yang lebih kecil dari ukuran 0,002 mm), nilai perbandingan ini disebut aktifitas.

2. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut Hardiyatmo (1992)

a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm,
b. Permeabilitas rendah,
c. Kenaikan air kapiler tinggi,
d. Bersifat sangat kohesif,
e. Kadar kembang susut yang tinggi,
f. Proses konsolidasi lambat

Kerr (1959) dalam Hardiyatmo (1992) menyatakan bahwa mineral lempung umumnya terdapat kira-kira 15 macam mineral . Diantaranya terdiri 3 komponen penting yaitu: *monmorillonite,lillite,* dan *kaolinite.*

Monmorillonite disebut juga dengan *smectite,* adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembaran silika dan satu lembaran alumunium *(gibbsite),* dengan rumus umum : $(OH)_4Si_8A1_4O_{20}.nH_2O$ dengan nH_2O adalah air yang berada diantara lapisan-lapisan (n lapis). Mineral ini mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah menyerap air lebih banyak dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Karena sifat-sifat tersebut *Monmorillonite* sangat. sering menimbulkan masalah pada bangunan, seperti dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

Lilite adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *lilite* yang mempunyai rumus : $(OH)_4Ky\ (Si_8yA1y)\ (A1_4Mg_6Co_6)\ O_{20}$ dengan bernilai antara 1 dan 1,5. *Lilite* diturunkan dari mika *(auscovite)* dan *hiotet (biotite),* dan terkadang disebut lempung mika. Susunan *lilite* tidak mengembang oleh gerakan air di antara lembaran-lembarannya.

Kaolinite merupakan kelompok dari mineral *kaolin,* terdiri dari kombinasi lembaran silika dan aluminium yang ke-duanya terikat oleh ikatan hidrogan. Rumus *kaolinite* yang dihasilkan ialah : $(OH)_8Al_4Si_40_{10}$. Mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyusutan pada satuannya.

Menurut Bowles (1991) dari ketiga komponen diatas kita dapat menentukan termasuk jenis meneral lempung dengan meliahat nilai aktivitasnya. Aktivitas ini dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$aktivitas = \frac{indeks\ plastisitas}{presentasi\ lempung}$$

Dimana presentasi lempung diambil sebagai fraksi tanah yang < 0,002 mm. Nilai khas aktivitas dari persamaan diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6 Jenis mineral lempung menurut nilai aktivitasnya

Jenis mineral lempung	**Nilai aktivitas**
Kaolonit	0,4 – 0,5
Lilite	0,5 – 1,0
Montmorillonite	1,0 – 7,0

Sumber : bowles (1991)

Mineral-mineral lempung menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur air karena mineral lempung mengalami dispersi (menyebar) di dalam air. Butiran lempung pada awalnya terdispersi di dalam air, kemudian posisinya berubah menjadi berdekatan satu sama lain karena gerakan acak di dalam larutan dimana butiran-butiran cenderung akan mengumpul di dalam gumpalan yang besar yang butiran-butirannya mempunyai hubungan tepi permukaan. Dalam keadaan ini partikel-partikel secara keseluruhan diikat bersama-sama oleh gaya tarik elektrostatika dari muatan positif tepi butiran ke permukaan negatif pada permukaan butiran. Keadaan ini disebabkan flokulasi atau flicculation. Bilamana gumpalan ini menjadi besar mereka akan mengendap ke bawah diakibatkan oleh gaya beratnya sendiri.

Sifat yang demikian itulah maka apabila lempung terdispersi dengan air diberikan beban, mineral lempung akan menyebar menjauh dari permukaan beban tersebut sehingga beban akan mengalami penurunan. Dapat disimpulkan lempung cenderung tidak stabil dan membahayakan struktur diatasnya seperti jalan raya, jalan kereta api dan landasan lapangan udara bila tidak ada penanganan secara khusus pada kondisi ini.**.** Untuk mengetahui penurunan tanah tersebut maka dilakukan pengujian konsolidasi.

E. Stabilisasi Tanah

Tanah merupakan salah satu bahan yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila dapat dipergunakan akan sangat ekonomis. Menurut Bowles (1991) apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau bila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasi. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

1. Menambah kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi dan atau tahanan geser yang timbul.
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah.
4. Merendahkan muka air (drainase tanah).
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk.

PERPUSTAKAAN UNNES

Menurut Soekoto (1984), perbaikan tanah dasar (*subgrade)* dapat dilakukan antara lain dengan stabilisasi massa tanah, baik secara mekanis maupun secara kimiawi.

Stabilisasi secara mekanis bertujuan untuk menambah kekuatan dan daya dukung tanah dengan mengatur gradasi butir tanah, perbaikan struktur, dan perbaikan sifat-sifat mekanis bahan. Sedangkan stabilisasi kimiawi bertujuan untuk menambah kekuatan dan daya dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan..

Soedarmo (1997) menjelaskan bahwa stabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau gabungan pekerjaan-pekerjaan berikut:

1. Mekanis :

   Stabilisasi dengan berbagai macam peralatan mekanis seperti:

   a. Mesin gilas (*roller*)
   b. Benda-benda berat yang dijatuhkan (*pounder)*
   c. Pemadatan dengan alat peledak *(eksplosif)*
   d. Tekanan statis
   e. Pembekuan
   f. Pemanasan, dll.

2. Bahan pencampur atau tambahan *(additive)*

   a. Kerikil untuk kohesif (lempung)
   b. Lempung untuk berbutir kasar
   c. Percampuran kimiawi seperti :

- Semen Portland (PC),
- Gamping atau kapur,
- Abu batu bara,
- aspaIt *cemen,*
- Limbah padat pabrik kertas, dll

F. Limbah Padat Pabrik Kertas

Industri kertas merupakan salah satu jenis industri terbesar di dunia dengan menghasilkan 178 juta ton of pulp, 278 juta ton kertas dan karton, dan menghabiskan 670 juta ton kayu. Pertumbuhannya dalam dekade berikutnya diperkirakan antara 2% hingga 3.5% per tahun, sehingga membutuhkan kenaikan kayu log yang dihasilkan dari lahan hutan seluas 1 sampai 2 juta hektar setiap tahun (ecoton@.ecoton.or.id 2002).

Limbah hasil pembuatan kertas dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

1. Efluen berupa limbah cair
   a) Limbah padat terdiri dari partikel kayu, serat, pigmen, debu dan sejenisnya.
   b) Senyawa organik koloid terlarut serat hemisellulosa, gula, lignin, alkohol, terpentin, zat pengurai serat, perekat pati dan zat sintetis yang menghasilkan BOD tinggi dll.
2. Partikulat berupa limbah padat
   a) Abu dari pembakaran batu bara (fly ash dan bottom ash) yang mengandung unsur Ca dan Na.
   b) Partikulat zat kimia lain.

PERPUSTAKAAN UNNES

3. Gas
   a) Gas sulfur yang berbau busuk seperti merkaptan dan H2S yang dilepaskan dari berbagai tahap dalam proses kraft pulping dan proses pemulihan bahan kimia.
   b) Oksida sulfur dari pembakaran bahan bakar fosil, kraft recovery furnace dan lime Kiln.
   c) Uap beracun.
4. Solid Wastes
   a) Sludge dari pengolahan limbah primer dan sekunder.
   b) Limbah padat seperti potongan kayu dan limbah pabrik lainnya

Limbah padat pabrik kertas berupa partikulat (padat) zat kimia terutama yang mengandung Ca dapat dijadikan bahan pencampur pada stabilisasi tanah. Pada limbah padat pabrik kertas yang terdapat unsur Ca, jika bereaksi dengan air dan lempung akan menjadi Ca^{++} yang dapat mengikat partikel-partikel lempung yang mempunyai ion-ion negative pada permukaannya.

G. Stabilitas Tanah dengan Limbah Padat Pabrik Kertas

Tanah yang mengalami pengembangan yang besar dapat dikurangi pengembangannya dengan penggantian kation, dimana kation yang biasanya digunakan adalah kalsium (Ca) (Bowles, 1991).

Secara mekanik kegiatan stabilitas tanah bertujuan untuk meningkatkan kepadatan tanah dan meningkatkan stabilitas tanah. Limbah padat pabrik kertas dapat dijadikan bahan pencampur *(stabilisator)* pada stabilisasi tanah, karena

pada limbah padat pabrik kertas terdapat unsur kalsium (Ca) yang jika bereaksi dengan air dan lempung akan menjadi Ca^{++} yang dapat mengikat partikel-partikel tanah lempung yang mempunyai ion-ion negative pada permukaannya. Stabilisasi dengan menggunakan limbah padat pabrik kertas adalah termasuk stabilisasi kimia, maka diperlukan waktu untuk mengikat partikel-partikel lempung secara sempurna.

H. Kekuatan Geser Tanah

Parameter kekuatan geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis days dukung tanah, stabilitas lereng clan tekanan dorong untuk dinding penahan tanah. Keruntuhan geser (shear failure) dalam tanah adalah akibat kuat geser relatif antar butirannya bukan karena butirannya sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah tergantung kepada gays-gays yang beker a antara butirannya.

Menurut Mohr (1990) dalam Bowles (1991) bahwa keruntuhan suatu bahan dapat ter adi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan geser clan tegangan normal. Sedangkan hubungan fungsi tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya dinyatakan dengan persamaan

$\tau = f(a)$.....(2.7)

Keterangan

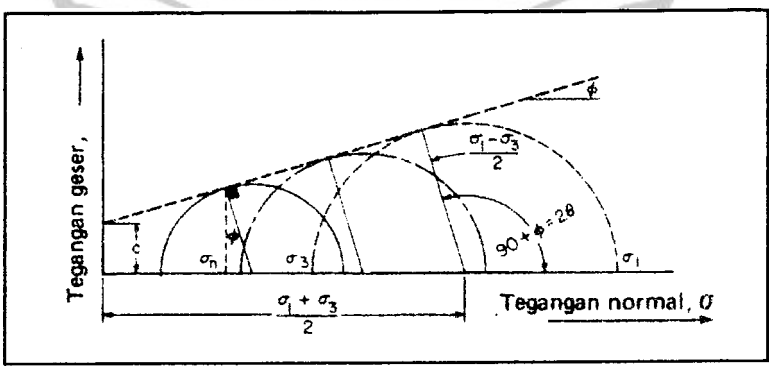
'r = tegangan geser pads saat tedadinya keruntuhan atau

kegagalan a = tegangan normal pads saat kondisi tersebut.

Kekuatan geser tanah adalah gays perlawanan yang dilakukan butiran-butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti inilah apabda tanah mengalami pembebanan, maka tanah tersebut akan ditahan oleh : 1. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya sebanding lures dengan tegangan vertikal pads bidang geser (y) lunak tergantung pads nilai sesaat w), 4) jenis beban dan tingkatnya dan 5) Anisotropis, dimana kekuatan yang tegak lurus terhadap bidang dasar *(bedding plane)* berbeda jika dibandingkan dengan kekuatan yang sejajar dengan bidang tersebut.

Di laboratorium, kuat geser sangat dipengaruhi oleh: 1) metode pengujian (terbentuknya tekanan pori yang berlebih), 2) gangguan terhadap contoh tanah (mengurangi kekuatan), 3) kadar air, 4) tingkat regangan (biasanya menambah kekuatan).

Harga-harga parameter kekuatan geser tanah c dan (p dapat ditentukan dengan pengujian geser langsung *(Direct Shear Test)* di laboratorium. Dari hasil pengujian tersebut akan diperoleh data-data yang kemudian dibuat suatu analisis hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser tanah saat runtuh.



Gambar 2.8 Selubung keruntuhan Mohr Columb untuk mendapatkan c dan y (Bowles , 1991)

BAB III

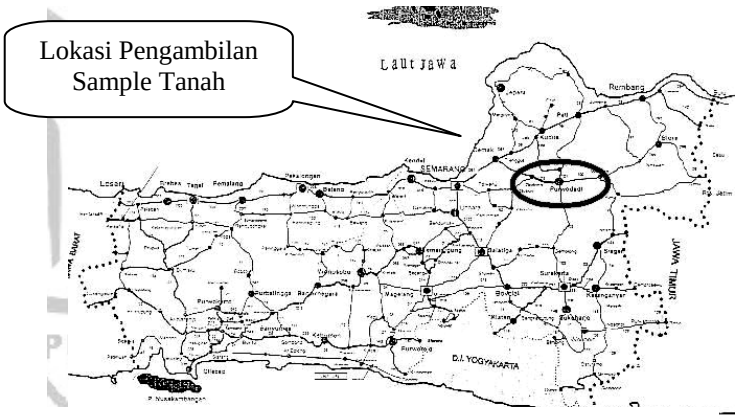
METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

1. Tanah

Tanah yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah tanah yang diperkirakan berjenis lempung diambil dari badan jalan Penawangan Kabupaten Grobogan pada kilometer 11,3. Tanah diambil dengan menggunakan cangkul pada kedalaman kurang lebih 50-100 cm (diperkirakan tidak mengandung humus).

(a)



(b)

Gambar 9. (a) Sampel Tanah, dan (b) Lokasi pengambilan sample

2. Limbah Padat Pabrik Kertas

Bahan limbah yang digunakan sebagai stabilisator dalam penelitian ini adalah limbah pabrik kertas yang diambil dari PT. PAPERTECH Magelang Jawa Tengah

3. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratrorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (diambil dari sumur artetis).

B. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dibagi dalam dua variasi, yaitu variasi campuran (*mixing*) dan variasi pemeraman (*curing*). Variasi campuran meliputi campuran lempung dengan limbah padat pabrik kertas. Daya dukung tanah meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi penambahan limbah padat pabrik kertas dan masa pemeraman. Konsentrasi campuran limbah padat pabrik kertas ditetapkan 0%, 5%, 10% dan 15% didasarkan pada berat kering tanah. Variasi pemeraman ditetapkan 0 hari, 3 hari, dan 7 hari.

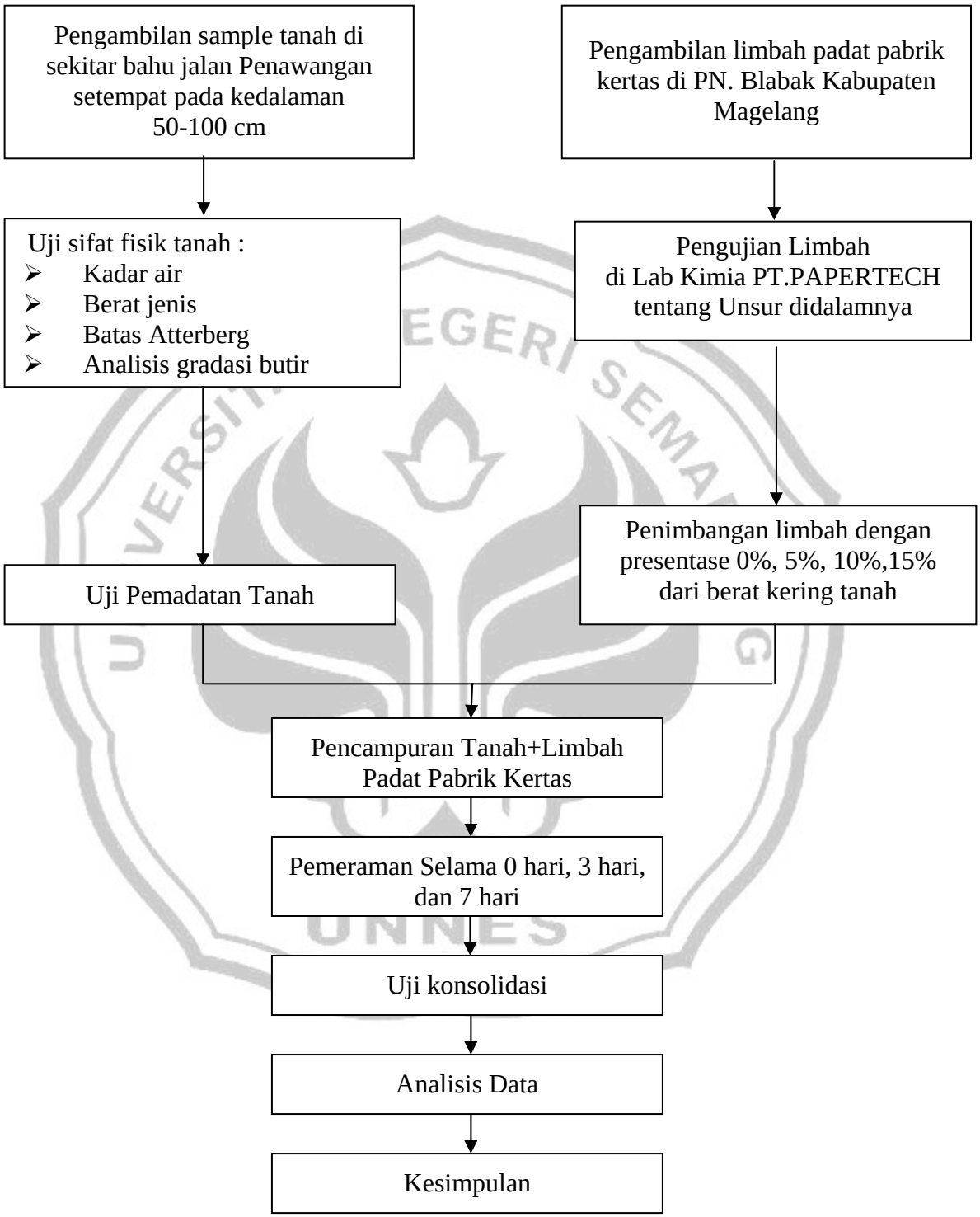
Tabel 11. Variasi Penelitian

Pemeraman (hari)	Limbah padat pabrik kertas			
	0%	4%	8%	12%
0	Aa	Ab	Ac	Ad
3	Ba	Bb	Bc	Bd
7	Ca	Cb	Cc	Cd

C. Pelaksanaan Penelitian

Dalam melakukan penelitian, pelaksanaan penelitian harus didesain dengan teliti agar tidak terjadi kesimpang siuran selama pekerjaan berlangsung. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini dapat disajikan pada gambar berikut :

Gambar 10. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian



D. Jenis-jenis Pengujian

Jenis-jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut : kadar air, berat jenis, berat isi, batas cair, batas plastis, batas susut, indeks plastisitas, analisis gradasi, uji pemadatan dan uji tekan bebas.

1. Kadar Air

Kadar air (w) adalah angka perbandingan dalam % dari berat air dengan berat tanah kering. Tujuan pengujian kadar air adalah dapat mengetahui persentase air yang terkandung dalam lapisan tanah. Pengujian kadar air berdasarkan ASTM D2216-71 *(ABTA Standard Part 19).*

a. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian kadar air adalah:

- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr.
- Oven.
- Cawan timbang.
- Spatel.

Gambar 3.3 Alat Uji Kadar Air

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

b. Pelaksanaan

Urutan pelaksanaan pekerjaan pada penelitian kadar air adalah sebagai berikut :

- Tanah yang akan diuji disiapkan.
- Cawan timbang dibersihkan dan dikeringkan, kemudian ditimbang dan dicatat, beratnya (w_1).
- Tanah yang telah disiapkan diambil dengan menggunakan spatel dan dimasukkan ke dalam cawan timbang, selanjutnya ditimbang dan dicatat beratnya (w_2).
- Tanah dan cawan timbang dimasukkan ke dalam oven, dengan temperatur 105-110° C selama 24 jam.
- Setelah 24 jam dalam oven, tanah dan cawan timbang dikeluarkan, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (w_3).

c. Perhitungan

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering}} x100 \text{ gram}$$

$$\text{Kadar air} = \frac{(w_2 - w_3)}{(w_3 - w_1)} x100 \text{ gram}$$

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

2. Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah (Gs) adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume butir pada temperatur tertentu. Tujuan pengujian berat jenis tanah adalah untuk menentukan nilai berat jenis suatu tanah. Pengujian berat jenis tanah berdasarkan AASHTO T 100-70 dan ASTM D854-58.

a. Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian berat jenis tanah adalah

- Piknometer dengan leher sempit, tutup berkonis dan tutup berlobang kapiler.
- Timbangan dengan ketelitian 0,001 gr.
- Oven.
- Desikator.
- Saringan no. 10.
- Cawan porselin.
- Thermometer.
- Kompor listrik.
- Air destilasi (dalam *wash bottle).*
- Spatel.

Gambar 3.4 Alat Uji Berat Jenis

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

b. Pelaksanaan

Langkah-langkah pekerjaan untuk penelitian berat jenis tanah adalah sebagai berikut:

- Piknometer dibersihkan bagian luar dan dalamnya, kemudian dikeringkan dan ditimbang (w_1).
- Tanah yang sudah dioven, digerus dalam cawan porselin dengan memakai spatel. Kemudian disaring dengan saringan no. 10. Tanah yang lolos saringan digunakan untuk percobaan.
- Contoh tanah kering diambil dan dimasukkan kedalam desikator selama ± 10 menit. Setelah dingin, tanah seberat ±10 gr dimasukkan ke da!am piknometer. Tanah dan piknometer ditimbang (w_2).
- Air destilasi dimasukkan ke dalam piknometer yang sudah berisi tanah kering sampai ± duapertiga penuh, kemudian direbus dengan hati-hati selama lebih kurang 10 menit. Sekali-kali piknometer dimiringkan untuk membantu keluarnya udara yang terperangkap di antara butir-butir tanah, kemudian didinginkan.
- Dalam piknometer ditambahkan air lagi sampai penuh, kemudian ditutup.
- Bagian luar piknometer dibersihkan sampai kering dan ditimbang (w_3). Air di dalamnya diukur suhunya dengan thermometer (t^o C).
- Piknometer segera dikosongkan dan dibersihkan, kemudian diisi penuh air destilasi, ditutup, bagian luarnya dibersihkan sampai kering dan ditimbang (W_4).

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

c. Perhitungan

$$Gs = \frac{\text{Berat butir}}{\text{Berat air dengan volume yang sama}}$$

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

Keterangan :

Gs = berat jenis

W_1 = berat piknometer kosong

W_2 = berat piknometer + tanah kering

W_3 = berat piknometer + tanah + air

W_4 = berat piknometer + air

3. Batas Konsistensi Tanah

Batas-batas konsistensi tanah atau atterberg limit yang diselidiki adalah batas cair tanah, batas plastis tanah dan batas susut tanah.

a. Batas cair tanah

Batas cair tanah adalah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair, yaitu kadar air dimana batas suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. Pengujian batas cair berdasarkan AASHTO T89-T68 dan T90-70, ASTM 423-66 (LL).

1) Alat-alat yang digunakan.

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian batas cair tanah

- Piknometri.
- Alat penumbuk *(grooving tool).*

- Cawam porselin.
- Penumbuk/penggerus (pastel).
- Spatel.
- Saringan no.40.
- Air destilasi dalam botol *(wash bottle).*
- Satu set alat pemeriksaan kadar air.
- Cawan logam berbentuk silinder.

Gambar 3.5 Alat Uji Batas Cair

2) Pelaksanaan.

Langkah pekerjaan pengukuran batas cair tanah adalah sebagai berikut

- Contoh tanah yang lolos saringan no.40 dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dicampur dengan air destilasi, kemudian diaduk dengan spatel sampai homogen.
- Tanah yang sudah dicampur air destilasi dimasukkan ke dalam cawan logam menggunakan spatel sambil dipukul-pukul ke lantai agar pengisian tanah merata.
- Setelah rata, cawan diletakkan di atas piknometeri, kemudian

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

jarum pada piknometri dijatuhkan ke dalam cawan dan diukur masuknya jarum piknometri ke dalam cawan tersebut.

- Pengujian seperti di atas dilakukan sebanyak 4 kali dengan penambahan air destilasi lebih banyak dari pengujian sebelumnya.
- Masing-masing percobaan dicari kadar airnya.

3) Perhitungan

Berat air

$A = W_2 - W_3$

Berat tanah kering

$B = W_3 - W_1$

Batas cair = kadar air

$$LL = \frac{A}{B} x100\% = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} x100\%$$

Keterangan :

W_1 = berat cawan kosong

W_2 = berat cawan + tanah basah

W_3 = berat cawan + tanah kering

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

b. **Batas plastis tanah**

Batas plastis tanah adalah kadar air minimum dimana suatu tanah dalam keadaan plastis. Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Pengujian batas plastis tanah berdasarkan ASTM D424-59 (PL).

1) Alat-alai yang digunakan

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian batas plastis tanah :

- Cawan porselin.
- Spatel.
- Pelat kaca.
- Saringan no. 40.
- Satu set perlengkapan pemeriksaan kadar air.
- Oven.

Gambar 3.6 Alat Uji Batas Plastis

2) Pelaksanaan

- Tanah uji yang dipakai lolos saringan no. 40.
- Tanah dicampur dengan air di dalam cawan porselin sampai

homogen. Pemberian air dilakukan sampai tanah bersifat plastis dan mudah dibentuk menjadi bola-bola dan tidak terlalu melekat pada jari tangan bila ditekan.

- Tanah dibentuk menjadi bola dengan diameter ± 13 mm sebanyak 8 buah.
- Tanah digelintir di atas kaca dengan jari tangan sehingga berbentuk batang. Kecepatan menggelintir 1,5 detik tiap satu gerakan maju mundur sampai batang tanah berdiameter 3 mm.
- Batang tanah diperiksa. Jika diameternya belum mencapai 3 mm tapi sudah retak-retak, maka batang tanah dimasukkan kembali ke cawan porselin, ditambah air dan diaduk sampai merata. Jika diameternya sudah mencapai 3 mm dan masih licin, batang tanah dipotong-potong menjadi 8 bagian dan diremas-remas, seluruhnya sampai homogen.
- Diulangi lagi menggelintir tanah sampai batang tanah berdiameter 3 mm dan sudah retak-retak serta tidak dapat digelintir menjadi batang-batang yang lebih kecil.
- Disediakan 2 buah cawan timbang, masing-masing diisi 4 batang tanah, kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk dicari kadar airnya.

3) Perhitungan

Berat air

$A = W_2 - W_3$

Berat tanah kering

$B = W_3 - W_1$

Batas plastis

$$PL = \frac{A}{B} x\ 100\% = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} x\ 100\%$$

Keterangan :

W_1 = berat cawan kosong

W_2 = berat cawan + tanah basah

W_3 = berat cawan + tanah basah

w = kadar air

c. **Batas susut tanah**

Batas susur tanah adalah merupakan nilai kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan = 100%, jadi untuk nilai-nilai di bawah ini tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus. Batas ini cukup penting di daerah kering dan untuk jenis tanah tertentu yang mengalami perubahan volume yang cukup besar dengan berubahnya kadar air.

1) Alat-alat yang digunakan

Dalam pengujian berat isi tanah alas-alas yang digunakan adalah

- Cawan poerselin.
- Cawan monel
- Cawan cristaling diameter 5 cm.
- Spatula

- Mistar pelurus baja.
- Plat kaca tanpa jarum
- Plat kaca yang memiliki 3 buah jarum atau kaki.
- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr.
- Air raksa (Hg)
- Oven

Gambar 3.7 Alat Uji Batas Susut

2) Pelaksanaan

Urutan pekerjaan untuk pengujian berat isi tanah adalah sebagai berikut :

- Tempatkan contoh dalam cawan porselin dan campurkan dengan air hingga contoh tanah jenuh dan tidak terdapat lagi gelembung udara. Kadar air yang disebutkan minimal sama dengan kadar air batas cair.
- Olesi bagian dalam cawan monel dengan minyak pelumas, kemudian tempatkan contoh tanah sampai kira-kira 1/3 bagian cawan dan ketuk-ketuk perlahan-lahan sehingga seluruh cawan terisi.

PERPUSTAKAAN UNNES

- Isi lagi 1/3 bagiannya dan ketuk-ketuk kembali. Terakhir isi cawan sampai penuh dan sampai ada yang tumpah keluar. Ratakan permukaan tanah dengan mistar sehingga permukaan benar-benar rata.
- Timbang cawan yang telah diisi tanah basah (w_1), keringkan di udara pada temperatur ruang hingga nampak perubahan warna dari warna gelap ke warna terang, masukkan ke oven dengan temperatur konstan yaitu 105-110° C selama 24 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator, ditimbang lalu dicatat beratnya (w_3).
- Volume benda uji basah ditentukan dengan cara menimbang cawan monel kosong, kemudian letakkan di atas cawan cristalizing. Isi cawan monel dengan air raksa sampai meluap, tekan permukaan cawan monel dengan plat kaca tanpa jarum agar air raksa dapat mengisi seluruh volume cawan monel. Tentukan volume cawan monel dengan menentukan berat air raksa yang terdapat dalam cawan monel. Volume cawan monel merupakan volume benda uji basah (V_1).
- Volume benda uji kering ditentukan dengan cara menimbang cawan cristalizing dalam keadaan kosong. Isi cawan monel dengan air raksa sampai meluap, tekan permukaan cawan monel dengan plat kaca tanpa jarum hingga rata. Kemudian letakkan cawan monel di atas cawan cristalizing, masukkan tanah yang sudah dioven ke dalam cawan monel dan tekan

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

dengan plat kaca berjarum sampai benda uji tenggelam dan nampak benda uji tertutup seluruhnya oleh air raksa. Catat berat air raksa yang melimpah pada cawan cristalizing. Berat ini menunjukkan volume benda uji kering (V_2).

3) Perhitungan

$$w_S = \left\{ \frac{(W1 - W2)}{V2} - \frac{(V1 - V2)}{W2} \right\} x100\%$$

Keterangan :

w_S = Batas susut (%)

W1 = Berat tanah basah oven (gram)

W2 = Berat tanah basah oven (cm^3)

V1 = Volume tanah kering (cm^3)

V2 = Volume tanah kering (Cm^3)

d. **Indeks Plastisitas**

Penetuan indeks plastisitas tanah didapat berdasarkan hasil dari pengujian batas cair dan batas plastis. Maka indeks plastisitas adalah nilai batas cair dikurangi nilai batas plastis. Nilai indeks plastisitas ditentukan pada rumus

4. Distribusi Besar Butiran

Distribusi butiran adalah suatu cara menentukan jenis dari tanah. Tujuannya adalah menentukan jenis tanah berdasarkan butiran-butiran tanah yang dikandungnya, dengan cara :

a) Analisa Saringan

Analisa saringan adalah salah satu cara untuk mengetahui jenis suatu tanah dengan menggunakan analisa saringan pada tanah yang tertahan di saringan no. 200. Berdasarkan AASTHO T87-70, AASTHO T88-70 dan ASTM D421-58 dan D422-63.

a. Alat-alat yang digunakan

- Seperangkat saringan
- Sikat (pembersih saringan)
- Timbangan ketelitian 0,1 gr
- Oven
- Desikator
- Mixer
- Mortar
- Palu karet
- Talam

Gambar 3.8 Alat Uji Distribusi Ukuran Butir

b. Pelaksanaan

- Timbang masing-masing ayakan yang akan digunakan (harus

dalam keadaan bersih).

- Periksalah dengan hati-hati contoh tanah yang mewakili untuk pemeriksaan. Hancurkan tanah menjadi butiran menggunakan alas pemukul.
- Timbang contoh tanah kering ± 500 gr, bila tanah yang diperiksa mengandung butiran-butiran kasar lebih besar dari ayakan no.4, contoh tanah perlu ditambah.
- Ayaklah tanah melalui urutan-urutan ayakan sambil menggoyangkan ke arah horizontal dengan menggunakan tangan atau mesin pengocok/penggoyang. Untuk tanah yang berbutir halus sekurang-kurangnya dikocok selama 10 menit.
- Timbanglah tanah pada masing-masing ayakan.

b) Analisa Hydrometer

Analisa hydrometer adalah analisa untuk menentukan jenis tanah berdasarkan ukuran butirannya yang lolos saringan no.200. Pengujian ini berdasarkan. ASHTO T87-70 dan T88-70 serta ASTM D421-58 dan D422-63.

a. Alat-alat yang digunakan

- Ayakan no.200
- Hydrometer
- Thermometer ketelitian 0,1 ° C
- Aat penggoyang
- Oven
- Regent
- Timbangan

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

- Pipet
- Stop watch
- Talam
- Aquades
- Mixer

Gambar 3.9. Alat Uji Analisa Hidrometer

b. Pelaksanaan

- Benda uji dikeringkan dalam oven selama 24 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.
- Regent dicampur dengan air 250 cc dan dibagi dua. Benda uji ditempatkan di dalam mangkok, ditambahkan, 250 cc cairan regent dan diaduk secara merata.
- Campuran dituang ke alat pengaduk dan diusahakan agar tidak ada butiran yang tertinggal.
- Alat pengaduk di putar ± 1 menit.
- Suspensi dipindahkan ke dalam tabung pengendap berukuran 1000 cc.
- Disiapkan gelas silinder ke dua dan di isi air + regent.
- Disiapkan gelas silinder ke tiga dan di isi air destilasi untuk

mencuci hidrometer.

- Hidrometer dimasukan ke dalam gelas silinder ke tiga.
- Gelas berisi suspensi ditutup dengan karet dan dibolak-balik vertikal 1 menit, kemudian silinder diletakkan di atas meja dan bersamaan pengendapan t = 0.
- Dilakukan percobaan hidrometer pada saat t = 25, 60, 250 dan 1440 menit dan dicoba dengan cara sebagai berikut ini. Kira-kira 20 - 25 menit sebelum setiap pembacaan, hidrometer mulai dicelupkan pada gelas pertama secara perlahan-lahan dan hati-hati, setelah tepat waktunya hidrometer di baca pada skala yang ditunjuk oleh puncak miniskus muka air (R1).
- Kemudian hidrometer diangkat pelan-pelan dan dicuci dalam gelas silinder ke tiga.
- Hidrometer diangkat dan dipindahkan ke dalam gelas silinder ke dua dan dibaca skalanya (R2).
- Setiap pembacaan hidrometer, dicatat temperatur suspensi.
- Setelah pembacaan terakhir (t = 1440 menit), suspensi dituangkan ke dalam saringan no.200 seluruhnya.

  a) Sisa suspensi di keringkan pada panas matahari, kemudian di oven. Kemudian didinginkan dan ditimbang beratnya.

  b) Tanah disaring dengan saringan no. 10, 20, 40, 60, 80, 140 dan 200. Di atas alas penggoyang dicatat dan ditimbang masing-masing bagian yang tertinggal pada setiap saringan.

c. Perhitungan

- $W = \frac{B_0}{1 + w}$

  Keterangan :

  B_0 = berat basah contoh tanah

  W = kadar air tanah

- $B_2 = W - B_1$

  Keterangan :

  B_2 = berat kering bagian tanah lewat saringan no.200

  B_1 = berat tanah tertahan saringan no.200

- $D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$

  Keterangan :

  K = konstanta yang besarnya dipengaruhi temperatur suspensi dan berat jenis butir

  D = konstanta yang besarnya dipengaruhi temperatur suspensi dan berat jenis butir

  L = kedalaman efektif, dimana berat suspensi diukur oleh hidrometer, yang nialinya ditentukan oleh jenis hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer R_1

  T = saat pembacaan dalam menit

- Prosentase berat

  - Jika digunakan hidrometer 151 H

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

$$P = \left[\left(\frac{10.000}{M}\right) X \frac{G}{(G - G_1)}\right] (R - G_1)$$

- Jika digunakan hidrometer 152 H

$$P = \left(\frac{R.a}{M}\right) x\ 100$$

Keterangan

R = pembacaan hidrometer terkoreksi = $R_1 - R_2$

G = berat jenis tanah

G_1 = berat jenis cairan pelarut tanah

Untuk pencampuran tanah dengan air destilasi + reagent digunakan $G_1 = 1$

a = angka koreksi untuk hidrometer 152H terhadap berat jenis butir

5. Uji Proctor

Uji proctor digunakan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dengan berat kering tanah.

a. Alat-alat yang digunakan

- Mold pemadatan 4”.
- Palu pemadatan standar.
- Ekstruder mold.
- Pisau pemotong
- Palu karet.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

- Sendok.
- Cawan.
- Gelas ukur 1000 ml.
- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
- Timbangan dengan ketelitian 1 gram.

Gambar 3.10 Alat Uji *Proctor*

b. Pelaksanaan

- Sampel tanah di keringkan kemudian ditumbuk dengan palu karet.
- Tanah yang sudah berbentuk butiran kecil disaring dengan saringan No.4 (# 4,75 mm).
- Sampel limbah padat pabrik kertas disaring dengan saringan No. 16. (# 1,18 mm).
- Mempersiapkan rencana campuran tanah dan limbah padat pabrik kertas berdasarkan berat isi kering.
- Untuk setiap campuran tanah ditambah air 200 ml, 275 ml, 350 ml, 425 ml dan 500 ml.

PERPUSTAKAAN UNNES

- Setelah campuran diaduk merata kemudian masing-masing benda uji dimasukkan dalam kantong pastik dan disimpan 24 jam agar limbah pada pabrik kertas bereaksi.
- Timbang cetakan dan alasnya dengan ketelitian 1,0 gram.
- Cetakan leher dan kepingan dijadikan satu dan ditempatkan pada alas yang kokoh.
- Ambil salah satu dari contoh tanah diaduk dan dipadatkan dengan penumbuk standar 2,5 kg dengan ketinggian jatuh 30,5 cm, tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dan tiap lapisan dipadatkan dengan 25 x tumbukan.
- Potongan kelebihan tanah dari bagian keliling dengan pisau dan lepaskan leher sambung.
- Timbangan cetakan berisi dengan pisau dan lepaskan leher sambung.
- Timbang cetakan berisi benda uji dengan ketelitian 1,0 gram.
- Keluarkan benda uji tersebut dan ambil sebagian kecil untuk pemeriksaan kadar air.

c. Perhitungan

a) Berat isi basah

$$\gamma = \frac{B2 - B1}{V}$$

Keterangan :

B1 = Berat cetakan

B2 = Berat tanah + berat cetakan

V = Volume cetakan

b) Berat isi kering

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

Keterangan :

γ = Berat isi basah

w = Kadar air

6. Uji geser langsung

Uji geser langsung menentukan besarnya parameter kuat tekan geser tanah yangterdiri dari sudut gesek intern (9) dan kohesi (c) dengan lat uji geser langsung pads kondisi *consolidated drained.* Pengujian geser langsung berdasarkan AASTHO T208-72 dan ASTM 2166-68.

a. Alat-alat yang digunakan

- Satu set alai uji geser langsung yang terdiri:
  a) Kotak geser berbentuk bulat
  b) Perlengkapan pembacaan normal
  c) Perlengjkapan untuk menggeser tanah
  d) Cincin beban dengan arloji pengukurannya
  e) Arloji penguku penurunan benda uji, dengan ketelitian 0,001 inch (0,002 mm)
  f) Arloji pengukur regangan penggeser, dengan ketelitian 0,001 inch (0,02 mm).

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

- Batu pori
- Stop watch
- Alat-alas penyiapan benda uji dan alas-alas pemeriksaan kadar air

Gambar 3.10. Alat uji geser langsung

b. Pelaksanaan

- Siapkan benda uji untuk 3 kali percobaan. Untuk tiap percobaan benda uji hares mempunyai kepadatan sama.

  a) Satukan kedua bagian kotak geser dengan skrup pengunci yang ada.

  b) Pasang di atasnya dengan plat bergigi yang berlubang untuk kondisi dengan gigi menghadap ke atas dan arah gigi tegak lurus terhadap arah pergeseran.

  c) Kemudian masukkan benda uji dengan mendorong keluar dari cincin cetak.

  d) Pasang di atasnya dengan plat bergigi yang berlubang dengan gigi menghadap ke bawah dan arah gigi tegak lurus terhadap arah pergeseran.

PERPUSTAKAAN UNNES

e) PaIng atas pasang penerus beban secara sentries.

- Atur semua perlengkapan pembebanan termasuk arloji pembaca dan arloji penurunan dinolkan.
- Berikan beban sehingga jumlah beban perpasang akan memberikan
- tekanan normal pads benda uji 0,25 kg/cm2 dimana an = N (kg/cm2). N A
- adalah beban yang diberikan dan A adalah lugs benda uji.
- Kotak geser segera diisi air
- Konsolidasi benda uji tersebut denmgan beban normal yang terpasang
- Setelah tanah terkonsolidasi buka kedua skrup pengunci dan regangan dengan memutar skrup peregang dengan jalan memutar secara bersama-sama dan lepaskan kedua sekurp peregangan tersebut.
- Pergeseran dilakukan dengan kecepatan OmO6 mm per menit.
- Selama pergeseran baca dan catat arloji ukur cincin beban, arloji penurunan dan arloji pergeseran.
- Pergeseran dihentikan bila, gays geser menunjukkan nilai konstan.
- Keluarkan benda uji dari kotak geser, kemudian dilakukan pemeriksaan kadar air.
- Prosedur di atas diulang lagi dengan pembebanan yang mampu memberikan tekanan normal on pads benda uji 0,50 kg/cm2 dan 1,0 kglciW.
- Uji ini diulang apabila hasil pembebanan kedua lebih kecil dari pembebanan pertama, atau hasil pembebanan ketiga lebih kecil dari hasil pembebanan kedua dan seterusnya.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

E. Analisis Data

Untuk mendapatkan kesimpulan dari suatu penelitian dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh. Dalam hal ini analisis data yang dipakai yaitu analisis terhadap hasil pengujian laboratorium yang dituangkan dalam tabel-tabel dan grafik-grafik hubungan berbagai variabel sehingga hasil penelitian ini dapat diketahui dari tabel dan grafik tersebut.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Tanah Asli

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang mengenai karakteristik tanah yang diambil dari Penawangan Kabupaten Grobogan KM 11,3 diperoleh data yang tercantum dalam Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Karakteristik Tanah

No.	Pemeriksaan	Nilai
1.	Kadar air tanah asli	43,25%
2.	Kadar air tanah kering udara	10,19%
3.	Berat jenis tanah (Gs)	2,67
4.	Batas cair (WL)	73,65%
5.	Batas plastis	31,06%
6.	Indeks plastisitas (Ip)	42,59%
7.	Batas susut	11,28%
8.	Kandungan pasir	12,30
9.	Kandungan lanau dan lempung	87,70%
10.	Faksi < 0,002 mm	34,23%
11.	Kerapatan kering optimum (τd maks)	13,1 g/cm^3
12.	Kadar air optimum (W opt)	34,40%

2. Limbah Padat Pabrik Kertas

Karakteristik limbah padat pabrik kertas PT. PAPERTECH Magelang Jawa Tengah dari penelitian menunjukkan nilai kadar air kering udara 5,42%, berat jenis 2,22% dan indeks plastisitas 0 (non plastis).

3. Campuran Tanah dengan Limbah Padat Pabrik Kertas

Pengujian yang dilakukan pada pencampuran tanah dan limbah padat pabrik kertas adalah pengujian berat jenis, batas-batas konsistensi, analisis gradasi butiran, dan pengujian konsolidasi tanah dengan pencampuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat kering tanah dengan variasi pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari.

1. Berat jenis

Pengujian berat jenis dilakukan untuk tanah yang dicampur dengan limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat kering tanah dengan pemeraman 0 hari atau tanpa pemeraman. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada lampiran 1 dan dirangkum dalam tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Berat Jenis Campuran Tanah dan Limbah Padat Pabrik Kertas

Kadar Limbah Padat Pabrik Kertas (%)	Berat Jenis
0	2,67
5	2,63
10	2,58
15	2,55

PERPUSTAKAAN UNNES

2. Batas-batas consistensi *(Atterberg)*

Pengujian batas-batas konsistensi dilakukan untuk tanah yang dicampur dengan limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat kering tanah dengan pemeraman 0 hari atau tanpa pemeraman. Pengujian meliputi, batas cair, dan batas pastisitas untuk mencari indeks plastisitas serta batas susut. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada lampiran 3 sampai lampiran 6 dan dirangkum dalam tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Batas-batas Konsistensi Campuran Tanah dan Limbah Padat Pabrik Kertas

Kadar Limbah Pabrik Kertas (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)	Batas Susut (%)
0	73,65	31,06	42,59	11,28
5	68,65	36,19	32,46	13,12
10	63,94	41,12	22,81	15,20
15	58,40	44,74	13,66	17,16

3. Analisis gradasi butir

Pengujian analisis gradasi butir digunakan tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat kering sampel pada pemeraman 0 hari atau tanpa pemeraman meliputi analisa mekanika dengan menggunakan saringan dan analisa sedimen menggunakan Hydrometer type 151 H. Hasil pengujian dapat dilihat dalam lampiran 7 sampai lampiran 10, sedangkan persentase kandungan pasir, lanau dan lempung pada masing-masing campuran dapat dilihat dalam tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Analisis Gradasi Butiran Tanah Campuran Limbah padat pabrik kertas

Kadar Limbah Padat Pabrik Kertas (%)	Kerikil (%)	Pasir (%)	Lanau/Lempung (%)
0	0,00	12,30	87,70
5	0,00	18,18	81,82
10	0,00	23,22	76,78
15	0,00	28,60	71,40

4. Kepadatan tanah

Pengujian pemadatan digunakan tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat kering sample pada pemeraman 0 hari atau tanpa pemeraman untuk mendapatkan nilai kerapatan kering maksimal dan kadar air optimum (W opt). Hasil pengujian dapat dilihat dalam lampiran 11 sampai lampiran 14, yang terangkum pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Tingkat Kepadatan Optimum Tanah

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Kadar Air Optimum (%)	Berat Kering Maksimum (g/cm^2)
0	34,40	1,31
5	32,30	1,33
10	29,80	1,37
15	28,20	1,38

5. Konsolidasi

Pengujian konsolidasi dilakukan untuk tanah yang dicampur limbah pada pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Hasil pengujian konsolidasi mendapatkan mendapatkan nilai t_{90} (waktu penurunan untuk mencapai konsolidasi 90%), nilai Cv (koefisien konsolidasi), nilai mv (koefisien perubahan volume), nilai e (angka pori) dan nilai Cc (indek konsolidasi).

a. Nilai t_{90} (waktu untuk mencapai konsolidasi 90%)

Berdasarkan hasil penelitian nilai t_{90} untuk tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada tekanan 8 kg/cm^2 dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Nilai t_{90} pada Tekanan 8 kg/cm^2

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Pemeraman		
	0 Hari	3Hari	7 Hari
0	3,0625	2,8900	2,8900
5	2,7250	2,5600	2,4025
10	2,5600	2,5600	2,4025
15	2,5600	2,5600	2,4025

b. Nilai Cv *(Coefficient of Consolidation)*

Nilai Cv *(Coefficient of Consolidation)* digunakan untuk menghitung kecepatan penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi, nilai Cv untuk tanah

dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada 8 kg/cm^2 dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Nilai Cv pada Tekanan 8 kg/cm^2

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Pemeraman		
	0 Hari	3Hari	7 Hari
0	0,01426	0,01517	0,01512
5	0,01867	0,02025	0,02255
10	0,02198	0,02344	0,02515
15	0,02344	0,02383	0,02538

c. Nilai mv *(Coefficient of Volume Change)*

Nilai mv *(Coefficient of Volume Change)* adalah perubahan volume persatuan penambahan tegangan efektif. Nilai mv untuk tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada tekanan 8 kg/cm^2 dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Nilai mv pada Tekanan 8 kg/cm^2

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Pemeraman		
	0 Hari	3Hari	7 Hari
0	0,0393	0,0392	0,0393
5	0,0349	0,0251	0,0207
10	0,0240	0,0201	0,0183
15	0,0201	0,0160	0,0160

d. Nilai e (angka pori)

Nilai angka pori untuk tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada tekanan 8 kg/cm^2 dapat dilihat pada table 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Nilai e pada Tekanan 8 kg/cm^2

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Pemeraman		
	0 Hari	3Hari	7 Hari
0	0,2613	0,2580	0,2558
5	0,3400	0,3825	0,4292
10	0,4168	0,4778	0,4889
15	0,4606	0,4858	0,4857

e. Nilai Cc (indeks konsolidasi)

Pengujian konsolidasi dilakukan untuk tanah yang dicampur limbah pada pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Hasil pengujian konsolidasi mendapatkan nilai Cc *(Compresstion Index)* yang merupakan nilai pemampatan atau penurunan tanah setelah konsolidasi. Nilai Cc untuk tanah dengan campuran limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% dengan pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Nilai Cc

Kadar Limbah padat pabrik kertas (%)	Pemeraman		
	0 Hari	3Hari	7 Hari
0	0,44	0,43	0,43
5	0,37	0,36	0,32
10	0,34	0,30	0,29
15	0,29	0,27	0,27

B. Pembahasan

1. Analisis Tanah Asli

1.1. Jenis mineral lempung

Berdasarkan indeks plastisitas yang dimiliki sebesar 42,59% dan persentase fraksi < 0,002 mm sebesar 34,23%, maka sample tanah yang diambil dari

Penawangan Kabupaten Grobogan KM 11.3 memiliki nilai aktivitas (42,59):(34,23) =1,24. Nilai aktivitas sebesar 1,24 tersebut berdasarkan tabel 2.6 termasuk jenis mineral lempung *montmorillonite.*

Monmorillonite disebut juga dengan *smectite,* adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembaran silika dan satu lembaran aluminium *(gibbsite),* dengan rumus umum : $(OH)_4Si_8A1_4O_{20}.nH_2O$ dengan nH_2O adalah air yang berada diantara lapisan-lapisan (n lapis). Mineral ini mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah menyerap air lebih banyak dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Karena sifat-sifat tersebut *Monmorillonite* sangat. sering menimbulkan masalah pada bangunan, seperti dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

1.2. Klasifikasi tanah lempung

Hasil analisis gradasi dan sifat-sifat konsistensi tanah yang diambil dari Penawangan Kabupaten Grobogan KM 11.3 berdasarkan klasifikasi tanah AASTHO pada tabel 2.3 masuk ke dalam kelompok tanah A-7-5, karena tanah tersebut mempuyai butiran halus (lolos saringan no. 2000) sebesar 34,23% dan kurang dari 35% serta indeks plastisitas 42,59% yang lebih kecil dari WL–30 (73,65-30 = 43,30) . Kelompok tanah A-7-5 adalah kelompok tanah lempung yang bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume yang cukup besar.

Berdasarkan klasifikasi *system Unified* tanah tersebut masuk kelompok CH karena karena butiran yang lolos ayakan no. 200 sebanyak 87,70% lebih besar dari 50% dengan batas cair (WL) yaitu 73,65% lebih besar dari 50%. Kelompok tanah CH yaitu kelompok tanah lempung yang memiliki plastisitas tinggi *(fat clays).*

2. Limbah padat pabrik kertas

Telah diuraikan dalam landasan teori, limbah padat pabrik kertas merupakan siswa proses produksi berupa partikulat (padat) yang mengandung Na dan Ca. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah padat pabrik kertas hanya bisa diamati kadar air dan berat jenisnya saja, sedangkan untuk sifat-sifat fisik yang lain seperti batas-batas konsistensi meliputi nilai batas cair, batas plastis dan indeks plastisitasnya tidak dapat diamati untuk semua kadar air, oleh karena itu limbah padat pabrik kertas dapat dikatakan non plastis. Namun demikian adanya unsur Ca yang ada dalam limbah padat pabrik kertas jika bereaksi dengan air dan tanah lempung akan menjadi Ca^{++} yang dapat mengikat partikel-partikel tanah lempung yang mempunyai ion-ion negative pada permukaannya sehingga bahan ini dapat dijadikan sebagai stabilisator tanah.

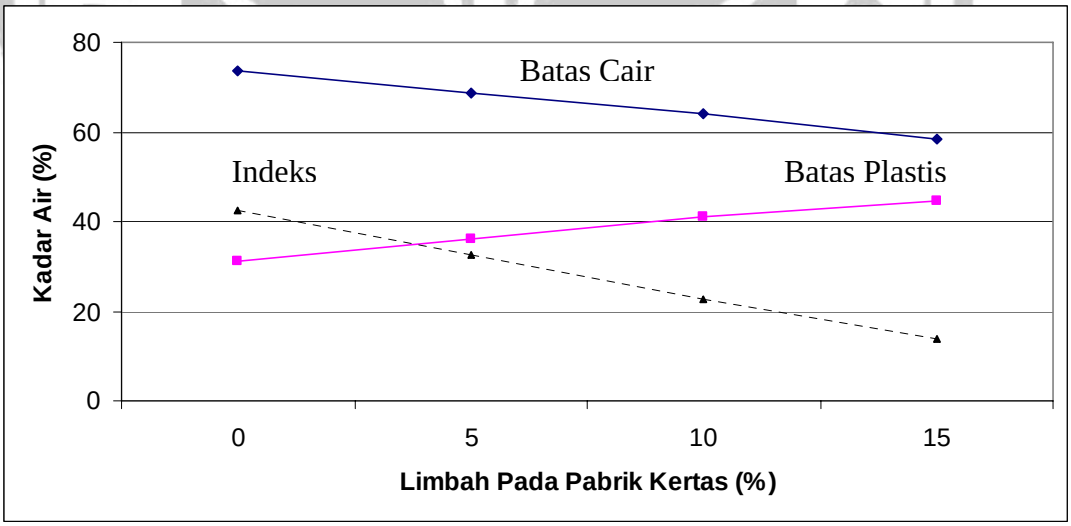
3. Campulan Tanah Lempung dan Limbah Padat Pabrik Kertas

1. Hubungan kadar limbah padat pabrik kertas dengan batas konsistensi

Penambahan limbah padat pabrik kertas menunjukkan kecenderungan penurunan batas cair tanah, meningkatnya batas plastis, menurunnya indeks plasistitas dan meningkatnya batas susut. Pada penambahan limbah pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% diperoleh nilai batas cair secara berturut-turut adalah 73,65%, 68,65%, 63,94% dan 58,40%. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah yang dicampur dengan limbah padat pabrik kertas berubah menjadi lebih baik karena penyerapan terhadap air semakin kecil. Pada penambahan limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% mampu meningkatkan nilai batas plastis dari 31,06%

menjadi 36,19%, 41,12% dan 44,74%. Kondisi tersebut menunjukan bahwa dengan penambahan limbah padat pabrik kertas kebutuhan air untuk mencapai keplastisan tanah menjadi semakin besar. Pada penambahan limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% mampu menurunkan indeks plastisitas dari 42,59% menjadi 32,46%, 22,81% dan 13,66%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanah mengalami penurunan pengembangan, sehingga ikatan butiran-butiran tanah semakin kuat. Pada penambahan limbah padat pabrik kertas 0%, 5%, 10% dan 15% nilai batas susut meningkat dari 11,28% menjadi 13,12%, 15,20% dan 17,16%. Nilai tersebut lebih dari 12% yang termasuk kategori penyusutan kecil.

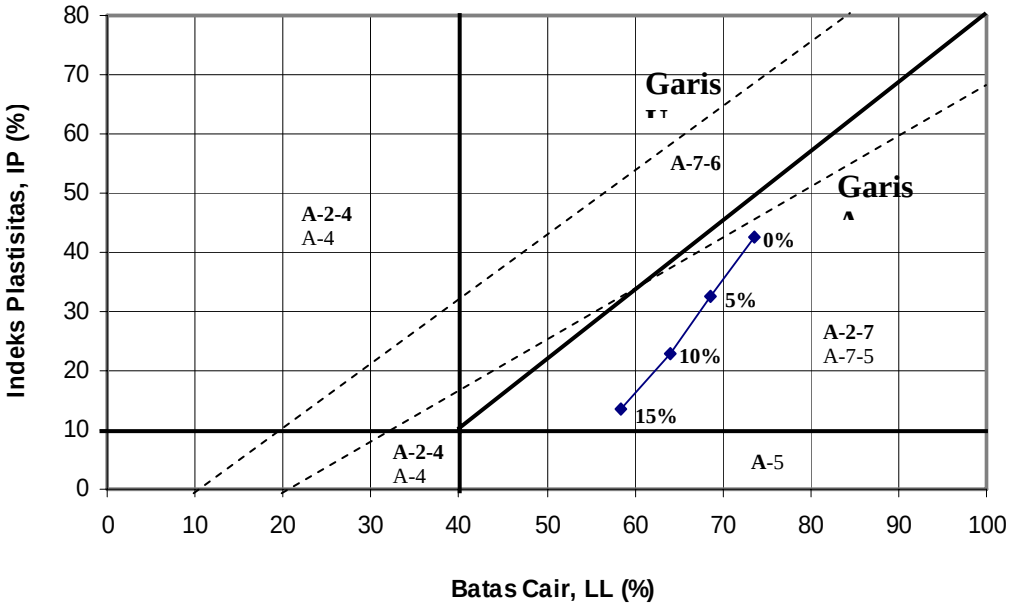
Lebih jelasnya pengaruh penambahan limbah padat pabrik kertas terhadap batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



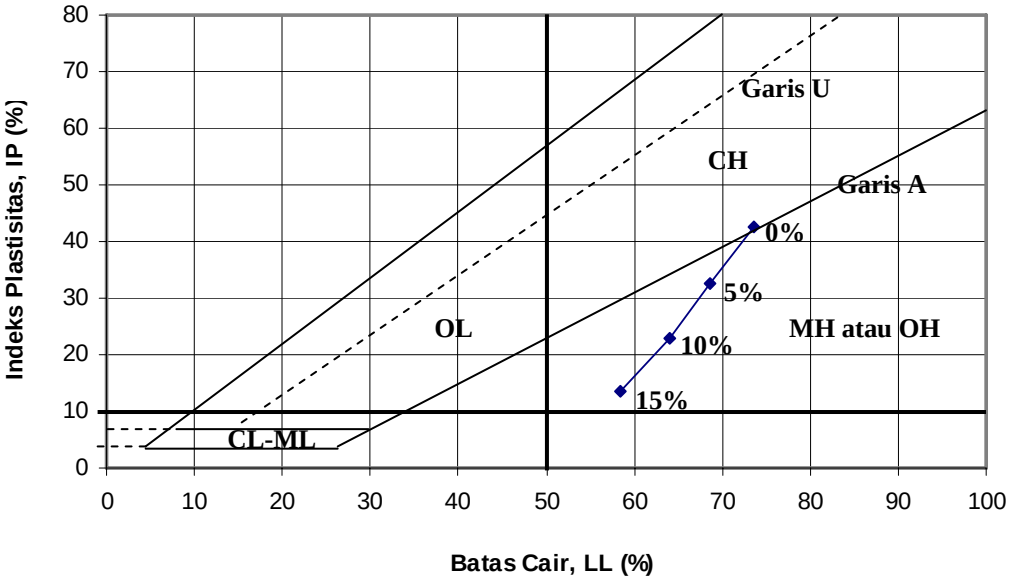
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas dengan Batas-batas Konsistensi Tanah

Mengingat nilai plastisitas tanah berubah seiring dengan penambahan limbah padat pabrik kertas maka dimungkinkan terjadi pula perubahan pada jenis tanahnya. Pengaruh penambahan limbah padat pabrik kertas menurut system

AASHTO, dan *Unified* dapat dilihat pada gambar 4.2, dan 4.3 berikut:



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas dengan Sifat Fisik Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

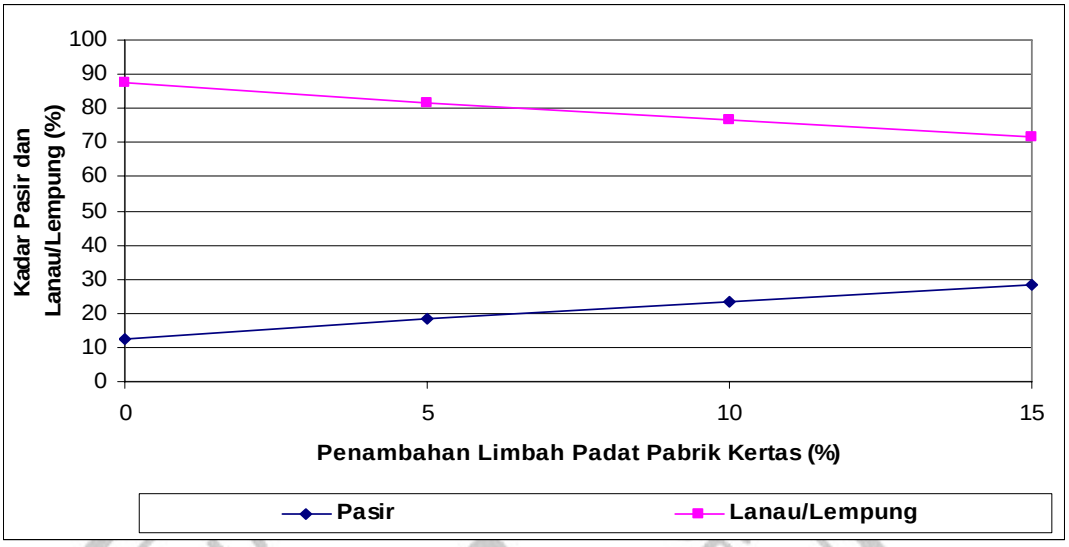


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas dengan Sifat Fisik Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah AASHTO, penambahan limbah pada pabrik kertas hingga 15% terjadi perubahan kelompok tanah, dimana pada penambahan limbah pada pabrik kertas 0% tanah masuk kelompok A-7-5 sedangkan setelah penambahan limbah pabrik kertas dari 5% hingga 15% tanah masuk kelompok A-7-6. Menurut klasifikasi sistem *Unified* penambahan limbah pada pabrik kertas hingga 15% terjadi perubahan kelompok tanah, dimana pada penambahan limbah pada pabrik kertas 0% tanah masuk kelompok CH sedangkan pada penambahan limbah pabrik kertas 5%, 10% dan 15% tanah masuk kelompok MH.

2. Hubungan kadar limbah padat pabrik kertas dengan gradasi butiran tanah

Gradasi butir merupakan salah satu faktor dalam menentukan kualitas tanah dasar (*subgrade*), gradasi berdasarkan ukuran sangat menentukan dalam pelaksanaan stabilisasi karena gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir. Seiring dengan penambahan limbah pada pabrik kertas dari 0%, 5%, 10% dan 15% jumlah kandunga pasir juga meningkat dan kandungan lanau/lempung menuru. Pengaruh penambahan limbah padat pabrik kertas terhadap kandungan pasir dan lanau/lempung dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut:



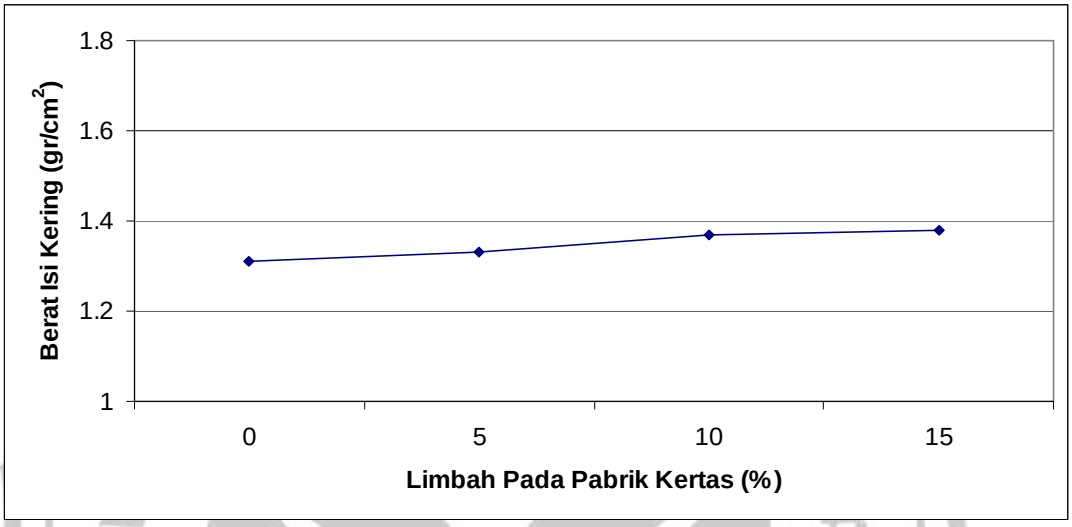
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas dengan Kandungan Pasir dan Lanau/Lempung

Pada Gambar 4.4 menunjukan bahwa pada penambahan limbah padat pabrik kertas 0% kandungan pasir 12,30% dan meningkat secara berturut-turut sebesar 18,18% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 5%, 23,22% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 10%, dan 28,60% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 15%. Seiring dengan meningkatnya kandungan pasir, maka kandungan lanau/lempung juga menurun dari 87,70% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 0%, menjadi 81,82% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 5%, kemudian 76,78% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 10%, dan 82,40% untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 15%. Dengan meningkatnya kandungan pasir menunjukkan ada perbaikan gradasi butiran tanah sehingga memungkinkan ikatan antara butiran tanah menjadi semakin kuat.

3. Hubungan kadar limbah padat pabrik kertas dengan tingkat kepadatan optimum

Tingkat kepadapatan optimum tanah dapat ditunjukkan dari berat isi kering optimum tanah. Seiring dengan penambahan limbah pada pabrik kertas dari 0%,

5%, 10% dan 15% berat isi kering tanah juga meningkat. Pengaruh penambahan limbah padat pabrik kertas terhadap kepadatan tanah dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:



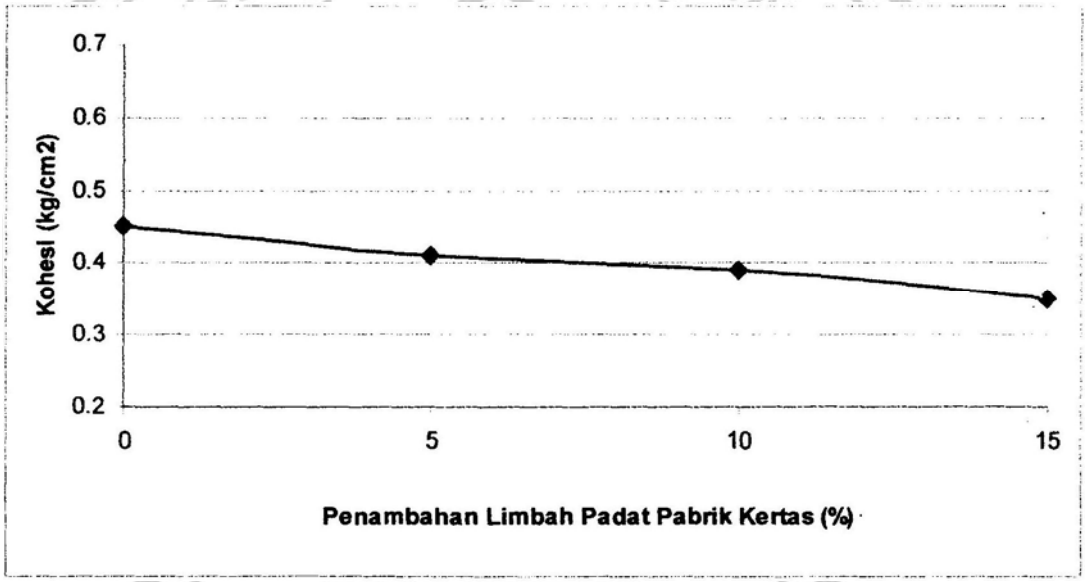
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas dengan Berat Isi Kering

Pada Gambar 4.5 menunjukan bahwa pada penambahan limbah padat pabrik kertas 0% berat isi kering tanah sebesar 1,31 g/cm^2 dan meningkat secara berturut-turut sebesar 1,33 g/cm^2 untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 5%, 1,34 g/cm^2 untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 10%, dan 1,35 g/cm^2 untuk penambahan limbah padat pabrik kertas 15%. Dengan meningkatnya berat isi kering tanah tersebut menunjukkan ada kepadatan tanah sehingga memungkinkan daya dukung tanah juga akan semakin meningkat.

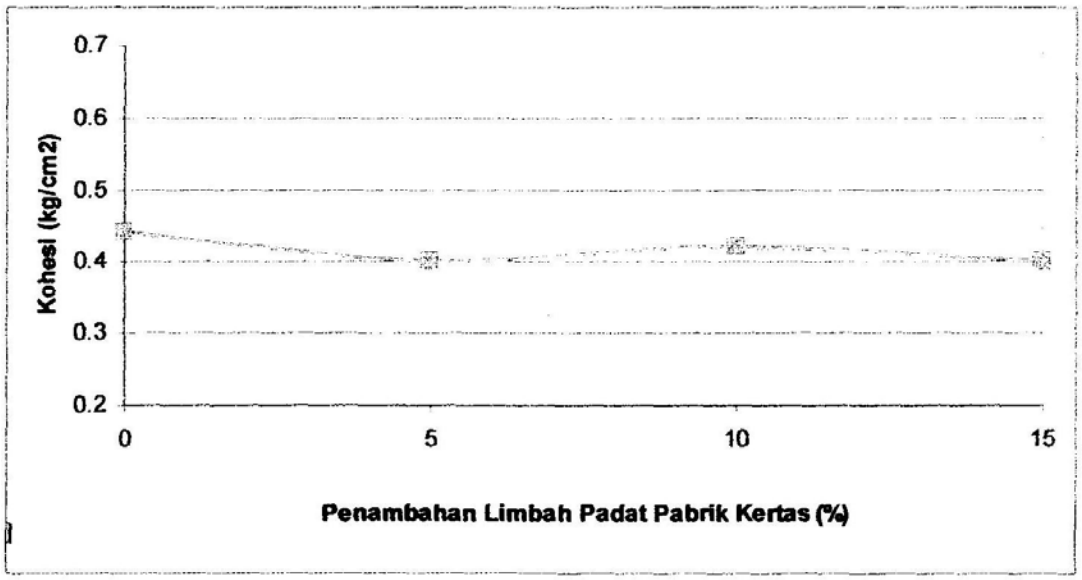
4. Hubungan kadar limbah padat pabrik kertas dengan daya dukung tanah

Nilai daya dukung tanah atau kekuatan tanah dapat diukur dengan salah satu cars diantamnya dengan uji geser langsung untuk mengukur keruntuhan tanah yang ter adi akibat gelinciran antar partikel dua permukaan tanah. Lempung semula

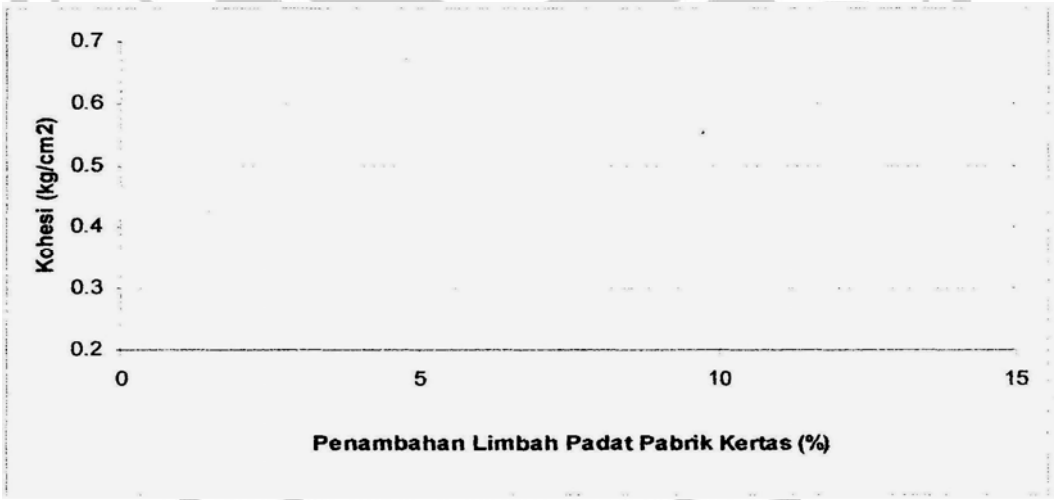
memiliki kekuatan bahan yang jelek ditandai dengan nilai indeks plastisitas tinggi, memiliki daya rekat yang baik dan butirannya termasuk butiran halos dengan gradasi buruk. Pencampuran dengan limbah pada pabrik yang mampu bereaksi dengan tanah sehingga membentuk gumpalan-gumpalan partikel lempung, sehingga menjadikan butiran tanah lempung menjadi lebih besar, tekstur yang kasar dan sifatnya nonkohesif dapat mempengaruhi gradasi biturannya dengan demikian dapat meningkatkan kuat gesernya. Hasil penelitian uji geser langsung untuk keseluruhannya dapat dilihat dalam Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.13.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas pada Pemeraman 0 hari terhadap Nilai Kohesi Tanah



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas pada Pemeraman 3 hari terhadap Nilai Kohesi Tanah

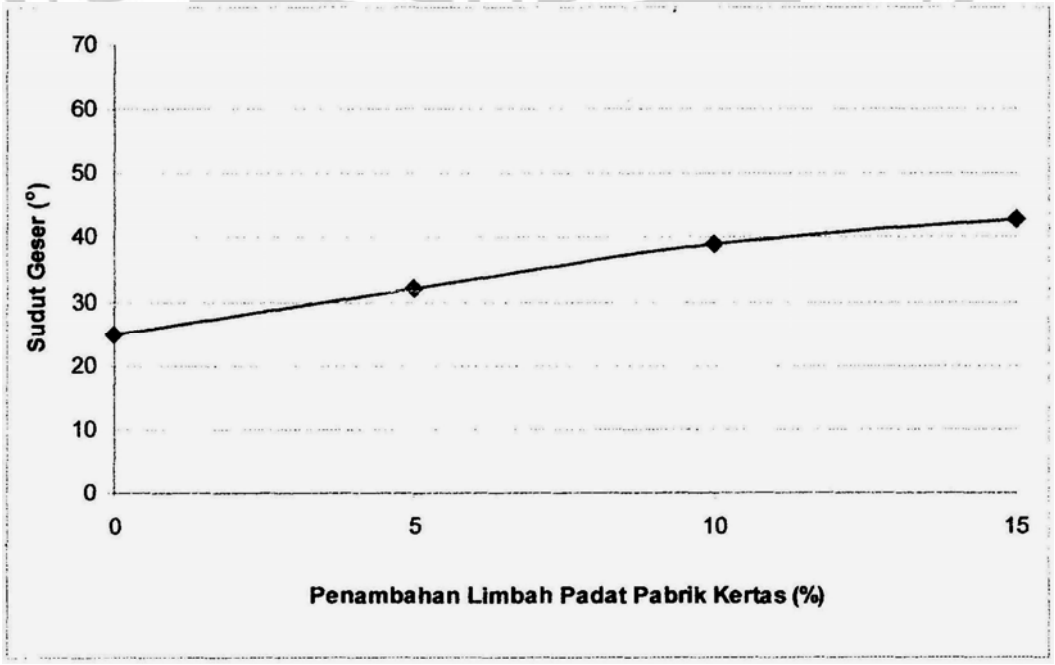


Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Penambahan *Limbah* Padat Pabrik Kertas pada Pemeraman 7 hari terhadap Nilai Kohesi Tanah

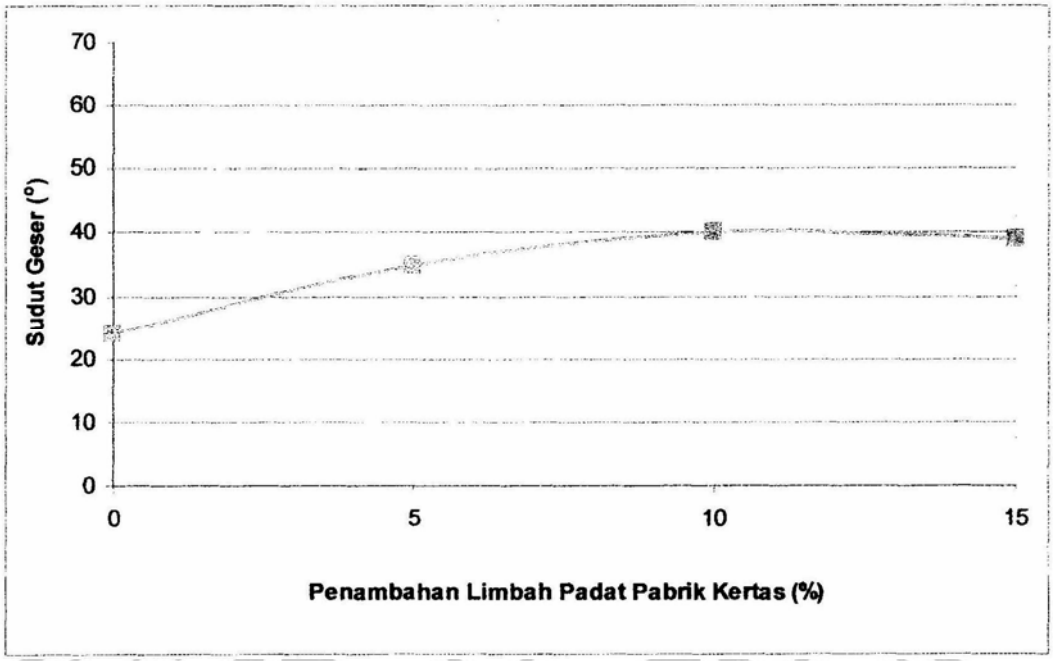
Dari Gambar 4.9 sampai dengan 4.10 di atas menunjukan bahwa peningkatan kualitas geser tanah akibat penambahan limbah pada pabrik kertas tersebut dapat dilihat dari adanya penurunan nilai kohesi seiring dengan penambahan limbah pada pabrik kertas. Sebelumnya lempung asli mempunyai nilai kohesi (c) 0,45 kg/cm^2 dan setelah dilakukan pencampuran limbah padat pabrik

kertas nilai kohesi (c) terus menurun hingga penambahan limbah pada pabrik kertas 15%. Selain itu juga menunjukkan bahwa seiring bertambahnya masa pemeraman hingga 7 hari nilai kohensi tanah juga mengalami penurunan. Kondisi tersebut disebabkan dengan semakin bertambahnya penggunaan limbah pada pabrik kertas maka tedadi pengikatan butiran tanah yang semakin banya sehingga gradasi tanah semakin besar menjadikan gesekan antar partikel tanah semakin kecil, Selain itu dengan bertambahnya masa pemeraman tedadinya proses pengikatan antar partikel tanah semakin kuat sehingga tidak mudah lepas saat tedadi pergeseran.

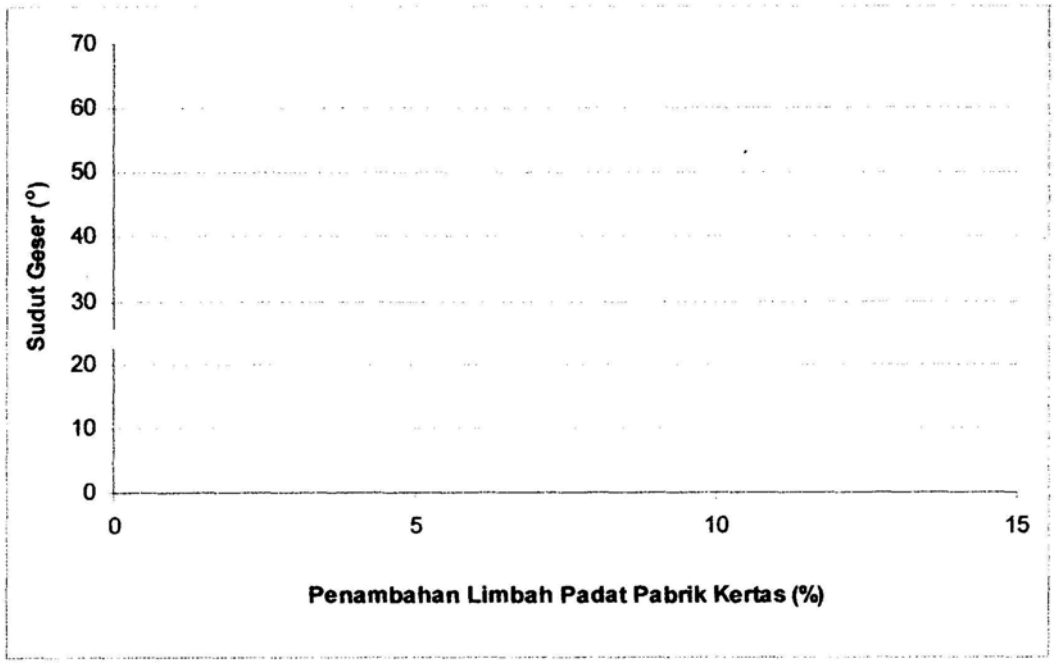
Selain ditunjukkan dari penurunan nilai kohesi kohesi tanah, peningkatan kualitas geser tanah akibat penambahan limbah pada pabrik kertas juga ditunjukkan dari menungkatnya sudut geser seperti tersaji pada gambar 4.11 sampai dengan 4.13 berikut.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas pada Masa Pemeraman 0 Hari terhadap Nilai Sudut gesek Tanah



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas pada Masa Pemeraman 3 Hari terhadap Nilai Sudut gesek Tanah



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Penambahan Limbah Padat Pabrik Kertas pada Masa Pemeraman 7 Hari terhadap Nilai Sudut gesek Tanah

Dari Gambar 4.11 sampai dengan 4.13 di atas menunjukan bahwa wiring dengan penambahan limbah pada pabrik kertas hingga 15% dan masa pemeraman hingga 7 hari sudut geser tanah jugs mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya sudut geser tersebut berarti pula, bahwa kualitas geser tanah menjadi semakin baik sebab sudut keruntuhan tanah akibat beban horisontal semakin besar.

Pada penelitian ini, parameter-parameter kuat geser mengalami kenaikan dengan adanya penambahan konsentrasi limbah padat pabrik kertas disebabkan adanya penggumpalan butiran tanah lempung yang semula memiliki gradasi tanah buruk menjadi butiran lempung yang lebih besar. Dengan adanya perbaikan gradasi butir tanah lempung ini maka nilai kuat gesernya mengalami peningkatan.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Menurut sistem AASHTO tanah yang diambil dari Penawangan Kabupaten Grobogan KM 11,3 adalah jenis tanah lempung yang bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume yang cukup besar dan masuk dalam kelompok tanah A-7-5. Sedangkan menurut sistim klasifikasi *Unified* termasuk dalam kelompok CH yaitu lempung organic dengan plastisitas tinggi “lempung gemuk” (fat clay). Berat jenis tanah 2,68 dan jenis mineral lempung sebagian besar adalah montmorillonite.
2. Limbah padat pabrik kertas memiliki berat jenis (Gs) = 2,22 dan indeks plastisitas (PI) =0, yaitu bersifat non plastis.
3. Penambahan limbah padat pabrik kertas hingga 15% menyebabkan batas cair turun sampai 58,40%, batas plastis naik sampai 44,74%,indeks plastisitas turun sampai 13,66%, batas susut naik sampai 17,16% dan faksi lempung turun menjadi 71,40%.
4. Penambahan limbah pads pabrik kertas sapai 15%, menubah sistem *Unified* jenis tanah berubah dari kelompok CH menjadi $_{MIR,,}$ menurut sistem *British Standard* jenis tanah berubah dari kelompok CH menjadi MV, sedangkan menurut sistem AASHTO jenis tanah tidak mengalami perubahan.
5. Nilai kohesi (c) pada penambahan limbah pada pabrik kertas sampai 10% dengan pemeraman sampai 7 hari mengalami penurunan yang nyata,

sedangkan pada penambahan limbah pada pabrik kertas lebih dari 10% dan masa, pemeraman 7 mulai kecenderungan terasa ada, meningkat. Nilai sudut gesek ((p) pada, penambahan limbah pada, pabrik kertas sampai 10% dengan pemeraman sampai 7 hari mengalami peningkatan yang nyata, sedangkan pada, penambahan limbah pada pabrik kertas lebih dari 10% dan mass pemeraman 7 mulai menurun kembali. Seiring dengan meningkatnya, parameter-parameter kuat geser yang terdiri dari penunman nilai kohesi (c) dan peningkatan sudut gesek ((p) akibat penambahan limbah pada pabrik kertas hingga 10% dan waktu pemeraman hingga 7 hari, berarti days dukung dari tanah jugs akan semakin meningkat.

B. Saran

1. Untuk mengantisipasi kebutuhan lapangan dan kemudahan bagi para praktisi teknik diharapkan adaya, penelitian lebih lanjut untuk jenis tanah berbeda dari daerah yang lain.
2. Mengingat keterbatasan biaya, dan kemampuan peneliti, maka analisis kimiawi tidak dibahas, oleh karena, itu perlu diteliti lebih lanjut reaksi kimiawi akibat

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J. E, Haimin, J. K., 1991, *Sifat-Sifat Fisis don Geoteknis Tanah*, Erlangga : Jakarta

Braja M. Das, 1991, *Mekanika Tanah (prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknilc)*, Erlangga : Jakarta

Craig, R. F, 1991, *Mekanika Tanah*, Erlangga : Jakarta

Chenn, F. H, 1975. *Foundation on Exspansive Soil, Elsevier Science Publising Company*. New York

Darmawijaya, M. I, 1991, *Klasifikasi Tanah*, Gajah Mada Press: Yogyakarta

Dass, B. M, 1988, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik), Erlangga: Jakarta

Dunn, I. S, Anderson, L. R, Kiefer, F. W, *Dasar-Dasar Analisis Geoteknik*, IKIP Semarang Press

Hardiyatmo, H. C, 1992, *Mekanika Tanah I*, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta

Holtz, R D. 1981. *An Introduction to Geotecnica/Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, N. J.

Soedarmo, G. D, 1993, *Mekanika Tanah I*, Canisius : Jakarta

Terzaghi, K., Peck, R B, 1987, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I*, Alih Bahasa Bagus W, dan Benny K., Erlangga: Jakarta

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES