



**STABILISASI TANAH GAMBUT RAWA PENING DENGAN
SEMEN DAN GYPSUM SINTESIS ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

Yunan Arief Rakhman

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

2002

"Kehidupan yang menyenangkan adalah kehidupan
dalam imajinasi, oleh karenanya jangan sekali-kali
mengekan kebebasan berimajinasimu"

Tulisan ini saya dedikasikan buat
orang-orang yang sangat saya cintai dan hormati :
Ayahanda Drs. Soeparno. MT
Ibunda Ifah Sunifah
Adik-adikku tercinta
Ir. Yuniar Wahyu Gunawan
Diana Khoiril Mala
Zaki Ismail Fahmi
Rais Fadli Habiebie
Buat Cintaku dimanakah engkau.....

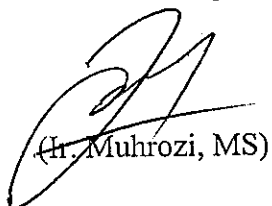
LEMBAR PENGESAHAN

STABILISASI TANAH GAMBUT RAWA PENING DENGAN
SEMEN DAN *GYPSUM* SINTESIS ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Disusun oleh :
Yunan Arief Rakhman
1*

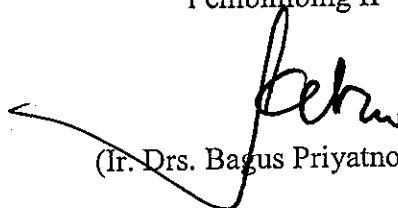
Disetujui,

Pembimbing I



(Ir. Muhrozi, MS)

Pembimbing II



(Ir. Drs. Bagus Priyatno, MT)

STABILISASI TANAH GAMBUT RAWA PENING DENGAN
SEMEN DAN GYPSUM SINTESIS ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Disusun Oleh :
Yunan Arief Rakhman

Dipertahankan Di Depan Penguji Tanggal
03 Januari 2003

Tesis Ini Di Terima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Magister Teknik Sipil



Semarang, 03 Januari 2003

Ketua Program Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Suripin, M. Eng

Tim Penguji :

Ketua I : Ir. Muhrozi, MS

Ketua II : Drs. Bagus Priyatno, ST-MT

Anggota :

1. Dr. Ir. Bambang Riyanto, DE

2. Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MS

3. Ir. Roeswan Soediro, MS

ABSTRAKSI

Tanah gambut dikategorikan ke dalam tanah lunak yang sulit diatasi terutama bila dijadikan tanah dasar suatu trase jalan. Untuk itu perlu dilakukan studi untuk meningkatkan kemampuan tanah gambut yaitu dengan cara stabilisasi tanah. Salah satu cara stabilisasi tanah adalah dengan menambah bahan tambah stabilisasi untuk tanah organik. Dalam penelitian ini digunakan bahan tambah 5% semen *portland* dengan *gypsum* bervariasi yaitu 5%, 10%, dan 15% dari berat kering tanah. Agar terjadi reaksi antara tanah gambut dengan PC dan *gypsum* maka dilakukan masa perawatan sampel yaitu 0 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 2 bagian yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian pokok. Penelitian pendahuluan digunakan untuk mengetahui sifat indeks, sifat fisik, dan sistem klasifikasi tanah. Sedangkan penelitian pokok yang dilakukan adalah uji CBR rendaman yang diikuti uji pengembangan terlebih dahulu.

Hasil penelitian laboratorium yang dilakukan menunjukkan bahwa tanah gambut Rawa Pening termasuk *fibrouse peat*. Kadar abu 37,73%, kadar serat 62,12%, dan kadar organik 62,27%. Batas cair turun dimana pada tanah gambut 104,37% menjadi 92,9% pada 5% PC dengan 15% *gypsum* pada masa perawatan 28 hari. Batas plastis pada tanah gambut 116,78% menjadi 92,64% dan indeks plastis dari 0% menjadi 0,26%. Terhadap hasil uji Proctor standar campuran 5% PC dengan *gypsum* menyebabkan berat kering maksimal naik yaitu dari 0,475 menjadi 0,579 dan pada kadar air optimum mengalami penurunan dari 106,25% menjadi 52,5%. Pada pengujian pengembangan secara keseluruhan mengalami penurunan dari 2,049% menjadi 0,017%. Akan tetapi pada campuran 5% PC dengan 15% *gypsum* nilai pengembangan mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan campuran lainnya.

Hasil paling optimum adalah stabilisasi tanah gambut dengan campuran 5% PC dan 10% *gypsum* untuk masa perawatan 28 hari yaitu 8,17%. Nilai CBR secara keseluruhan naik dari 2,78% menjadi 8,17%, akan tetapi pada campuran 5% PC dengan 15% *gypsum* terjadi penurunan nilai CBR menjadi 5,80%. Secara keseluruhan nilai CBR dari stabilisasi tanah gambut dengan PC dan *gypsum* memenuhi persyaratan Bina Marga sebagai tanah dasar, karena nilai CBR yang didapat lebih besar dari 5%. Jadi bahan semen dan *gypsum* dapat dijadikan bahan stabilisasi alternatif untuk tanah gambut sebagai tanah dasar.

Kata kunci : Gambut, Tanah Dasar, Stabilisasi, Penelitian Pendahuluan, Penelitian Pokok

ABSTRACT

Peat soil is categorized into soft soil that difficult to overcome especially if it used to be sub grade of road trace. So it needs study to increase peat soil ability that is soil stabilization. One of the soil stabilization is by adding stabilization agents for organic soil. In this research stabilization agents that used are 5% Portland cement with gypsum in varying percentage: 5%, 10%, and 15% of soil density. Sample curing time during 0 day, 14 days, and 28 days must be done in order to create reaction between peat soil with Portland cement and gypsum.

This research is divided into 2 parts, which are: Preliminary research and Prime research. Preliminary research was done to find out index behave, physic behave, and soil classification system. Prime research was done by CBR soak test that followed by swelling test before.

The result from laboratorium research shows that peat soil from Rawa Pening is fibrous peat category, with 37,73% ash content, 62,12% fiber content, and 62,27% organic matter. The liquid limit decreased from 104,37% to 92,9% at 5% PC with 15% gypsum during 28 days curing time. The plastic limit decreased from 116,78% to 92,64%, plasticity index decreased from 0% to 0,26%. Towards result of Standard Proctor test, mix of 5% PC with gypsum caused maximum density increased from 0,475 to 0,579, at water content optimum it decreased from 106,25% to 52,5%. From development test for overall decreased from 2,049% to 0,017%, but at mix of 5% PC with 15% gypsum they decreased if they compared with others mix.

The optimum result from peat soil stabilization that is mix of 5% PC with 10% gypsum in during 28 days curing time, with result 8,17%. CBR values for overall are increased from 2,78% to 8,17%, but at mix of 5% PC with 15% gypsum there was CBR value decreased to 5,80%. CBR values for overall from peat stabilization mix with Portland cement and gypsum fill rules from Bina Marga like sub grade, because the CBR values greater than 5%. So Portland cement and gypsum matter can be used to alternative stabilization agents for peat like sub garde.

Keywords: Peat soil, Subgrade, Stabilization, Preliminary Research, Prime Research

KATA PENGANTAR

Puji sukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, dan kelancaran dalam berpikir sehingga penulisan Tesis dengan judul “ STABILISASI TANAH GAMBUT RAWA PENINIG DENGAN SEMEN DAN GYPSUM SINTETIS ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Tesis ini merupakan suatu syarat yang harus ditempuh guna kelulusan studi Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Dalam penulisan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan-bantuan pihak-pihak lain dalam memberi bantuan dan bimbingan. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tesis. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga :

1. Allah swt tempat meminta dan memohon pertolongan.
2. Keluarga besar Bapak Soeparno.MT dan ibunda Ifah Surifah yang telah memberi dorongan semangat dan memberi kesempatan kepada ananda untuk melanjutkan studi di Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Buat Adik-adikku tercinta yang selama ini memberi kebahagiaan dan kebanggan terhadap penulis.
3. Drs. Bagus Prayitno, ST., MT, yang telah memberi motivasi dan membuka wawasan.
4. Ir. Yazid Mutohar, MT yang telah menemani dan memberi support selama penulis menghadapi krisis mental.
5. Pimpinan dan staf administrasi Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro yang telah melayani selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman angkatan 2000 Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Universitas Diponegoro yang telah berbagi kebahagiaan dengan penulis selama perkuliahan.
7. Teman-teman di Lab UNDIP, Mas Sugeng dan Mas Kamto yang membantu penulis di Laboratorium.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Permasalahan	1
1.1.1. Perumusan Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA	
2.1. Landasan Teori.....	5
2.2. Tanah Dan Batuan.....	6
2.2.1. Siklus batuan.....	6
2.2.2. Pembentukan Tanah akibat Pelapukan.....	8
2.2.3. Partikel Tanah.....	8
2.2.4. Tanah Gambut	10
2.3. Klasifikasi Tanah.....	11
2.4. Sifat Fisis dan Indeks Tanah	16
2.4.1. Definisi Dasar Dan Hubungan Volume - Berat.....	16
2.4.2. Struktur Tanah.....	20
2.4.3. Batas Atterberg (Konsistensi)	24
2.5. Stabilisasi Tanah.....	25
2.5.1. Stabilisasi <i>Portland Cement</i> Dan <i>Gypsum</i>	27
2.5.1.1. <i>Portland Cement</i> (PC).....	27

2.5.1.2. <i>Gypsum</i>	30
2.6. Pemadatan Tanah	31
2.6.1. Pemadatan Tanah Organik	33
2.7. <i>California Bearing Ratio</i> (CBR).....	36
2.8 Penelitian Yang Pernah Dilakukan.....	37
BAB III	METODE PENELITIAN
3.1. Bahan Penelitian.....	40
3.1.1. Tanah	40
3.1.2. <i>Portland Cement</i>	40
3.1.3. <i>Gypsum</i>	40
3.2. Lokasi Pengambilan Sampel	40
3.3. Peralatan Penelitian	42
3.3.1. Cawan	42
3.3.2. Timbangan.....	42
3.3.3. Oven.....	42
3.3.4. Gelas Ukur.....	42
3.3.5. Piknometer.....	43
3.3.6. <i>Mould</i>	43
3.3.7. Saringan.....	43
3.3.8. <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	43
3.3.9. Alat Pemeriksa Konsistensi Atterberg.....	44
3.4. Proses Penelitian.....	44
3.5. Anggapan Dasar	53
3.5.1. Kadar <i>Portland Cement</i>	53
3.5.2. Variasi Kadar <i>Gypsum</i>	53
3.5.3. Metode Pencampuran	54
3.5.4. Rawatan (<i>curing</i>)	54
3.5.5. Pengujian Pengembangan (<i>swelling</i>).....	54
3.5.6. Pengujian C.B.R.....	55
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
4.1. Hasil Penelitian.....	57
4.1.1. Tanah Gambut	57

4.1.2. <i>Portland Cement</i>	57
4.1.3. <i>Gypsum</i>	58
4.1.4. Pengujian Campuran Tanah Gambut, <i>Portland Cement Dan Gypsum</i>	58
4.2. Pembahasan	60
4.2.1. Klasifikasi Tanah.....	60
4.2.2. Pengaruh <i>Portland Cement – Gypsum</i> Terhadap Karakteristik Pemadatan.....	61
4.2.3. Pengaruh <i>Portland Cement – Gypsum</i> Dan Masa Perawatan Terhadap Batas-Batas Atterberg.....	64
4.2.4. Pengaruh <i>Portland Cement – Gypsum</i> Dan Masa Perawatan Terhadap <i>Swelling</i>	67
4.2.5. Pengaruh <i>Portland Cement – Gypsum</i> Dan Masa Perawatan Terhadap Nilai CBR	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	70
5.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
1.1.	Penyebaran tanah gambut di Indonesia (dalam juta hektar).....	1
2.1.	Batasan-batasan ukuran tanah	9
2.2.	Ukuran partikel tanah gambut menurut ASTM D 2977.....	9
2.3.	Kelompok-kelompok tanah utama sistem klasifikasi tanah Unified.....	13
2.4.	Perbandingan kelompok klasifikasi tanah AASHTO dan Unified.....	14
2.5.	Klasifikasi tanah gambut menurut ASTM	15
2.6.	Klasifikasi tanah gambut menurut Mac. Farlane	15
2.7.	Berat jenis untuk berbagai macam tanah.....	20
2.8.	Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.....	25
2.9.	Kandungan senyawa <i>Portland cement</i>	29
2.10.	Elemen-elemen dari percobaan pemadatan standar	34
4.1.	Karakteristik tanah gambut Rawa Pening	57
4.2.	Karakteristik <i>Portland cement</i> tipe I merk Nusantara.....	57
4.3.	Karakteristik <i>gypsum</i> sintesis produksi Bagus Prayitno dkk.....	58
4.4.	Nilai batas-batas Atterberg terhadap masa perawatan	58
4.5.	Pengaruh PC – <i>gypsum</i> terhadap karakteristik pemadatan	59
4.6.	Variasi pengembangan (%)	59
4.7.	Variasi nilai CBR terhadap masa perawatan.....	59
4.8.	Klasifikasi tanah gambut Rawa Pening menurut ASTM	60

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.1.	Peta lokasi sebaran tanah gambut Indonesia	2
2.1.	Siklus batuan	6
2.2.	Diagram fase tanah.....	16
2.3.	Struktur butir tunggal (a) lepas, (b) padat	20
2.4.	Model susunan butiran yang bulat dan berukuran sama (tampak atas) : (a) susunan yang sangat lepas, (b) susunan yang sangat padat	21
2.5.	Struktur sarang lebah.....	22
2.6.	Struktur tanah (a) susunan <i>ped-ped</i> dan ruang pori makro. (b) susunan domain-domain dan cluster-cluster dengan butiran berukuran lanau	23
2.7.	Lokasi-lokasi relatif dari batas-batas plastis dan cair suatu tanah.....	24
2.8.	Prinsip pemadatan	33
2.9.	Variasi harga berat volume kering maksimum terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).....	34
2.10.	Variasi kadar air optimum terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).....	35
2.11.	Variasi kekuatan desak tak terbatas (<i>unconfined compression strength</i>) maksimum (dari tanah yang dipadatkan) terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).....	35
3.1.	Peta lokasi pengambilan sampel tanah gambut.....	41
3.2.	Diagram alur pelaksanaan penelitian	56
4.1.	Gabungan grafik pemadatan standar campuran gambut dengan <i>Portland cement</i> dan <i>gypsum</i>	61
4.2.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap berat volume kering maksimum	63
4.3.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap kadar air optimum	63
4.4.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap batas cair, batas plastis dengan masa perawatan	64
4.5.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap indeks plastisitas dengan masa perawatan.....	66
4.6.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap <i>swelling</i> dengan masa perawatan.....	67
4.7.	Pengaruh kadar PC – <i>gypsum</i> terhadap nilai CBR dengan masa perawatan..	68

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

Inggris

G _s	berat spesifik butiran tanah.
h ₁	tinggi benda uji semula.
h ₂	tinggi benda uji sesudah perendaman.
P ₁	gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,1".
P ₂	gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,2".
V	volume total.
V _a	volume udara di dalam pori.
V _(m)	volume cetakan.
V _s	volume butiran padat.
V _v	volume pori.
V _w	volume air di dalam pori.
W	berat total.
W _s	berat butiran padat.
W _w	berat air.
w	kadar air.
W _{opt}	kadar air optimum

Yunani

γ	berat volume.
γ _d	berat volume kering.
γ _{k maks}	berat volume kering maksimum.
γ _w	berat volume air.
γ _{ZAV}	berat volume kering untuk tanah dalam keadaan <i>zero air void</i> (jenuh).
φ	diameter

Singkatan

AASTHO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials.</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CBR	<i>California Bearing Ratio.</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology.</i>
PC	<i>Portland Cement</i>
USDA	<i>U.S. Department of Agriculture.</i>
USCS	<i>Unified Soil Classification System.</i>
OC	Kadar Organik (<i>Organic content</i>).
ZAV	<i>Zero Air Voids.</i>

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
A	Kadar Air.....	75
B	Berat Jenis	76
C	Kadar Abu, Kadar Serat dan Kadar Organik serta <i>Particel Size</i> Gambut Rawa Pening.....	78
D	Pemadatan Standar	79
E	Batas-batas Atterberg	
	D.1. Batas-batas Atterberg (Perawatan 0 hari)	84
	D.2. Batas-batas Atterberg (Perawatan 14 hari)	89
	D.3. Batas-batas Atterberg (Perawatan 28 hari)	93
F	<i>California Bearing Ratio</i> (C.B.R)	
	E.1. <i>California Bearing Ratio</i> (C.B.R) (Perawatan 0 hari)	97
	E.2. <i>California Bearing Ratio</i> (C.B.R) (Perawatan 14 hari)	107
	E.3. <i>California Bearing Ratio</i> (C.B.R) (Perawatan 28 hari)	115

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

1.1.1. Perumusan Masalah

Tanah gambut adalah tanah organik yang mengandung akar-akar tumbuhan serta umumnya daerah tanah gambut adalah suatu daerah rawa. Tanah gambut dikategorikan dalam tanah lunak yang sulit diatasi terutama bila harus dilalui trase jalan. Untuk itu dilakukan studi untuk meningkatkan kemampuan tanah gambut sehingga dapat digunakan sebagai tumpuan perkerasan jalan

Berdasarkan data Himpunan Gambut Indonesia dalam harian KOMPAS edisi 25 Maret 1996, penyebaran lahan gambut di Indonesia berjumlah 27,913 juta hektar. Adapun penyebaran tanah gambut di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut :

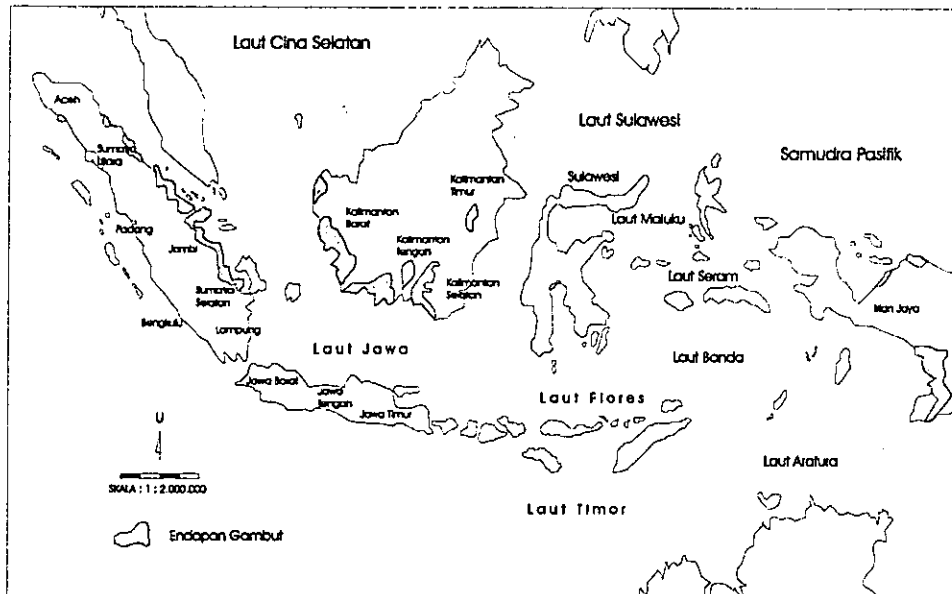
Tabel 1.1. Penyebaran tanah gambut di Indonesia
(dalam juta hektar)

NO	PULAU	GAMBUT PEDALAMAN	GAMBUT PANTAI	JUMLAH
1	Sumatra	7.612	1.263	8.875
2	Kalimantan	6.198	0.325	6.523
3	Irian Jaya	-	-	10.875
4	Jawa	-	-	0.875
5	Sulawesi	-	-	0.240
6	Maluku	-	-	0.525
7	Indonesia	13.810	1.588	27.913

Sumber : Himpunan Gambut Indonesia dalam harian KOMPAS
Edisi 25 Maret 1996

Pada Gambar 1.1 memperlihatkan Penyebaran tanah gambut di beberapa pulau di wilayah Indonesia.

UPT-PUSTAK-INDIP



Gambar 1.1. Peta lokasi sebaran gambut Indonesia

Dengan makin berkembangnya pembangunan prasarana fisik jalan di Indonesia, dalam prakteknya di lapangan sering dijumpai masalah-masalah teknis yang berkaitan dengan karakteristik tanah. Salah satu jenis tanah yang kurang menguntungkan bagi konstruksi adalah tanah gambut.

Bagian terpenting dari konstruksi jalan adalah tanah dasar (*subgrade*) karena tanah dasar inilah yang mendukung seluruh konstruksi jalan beserta muatan lalu lintas di atasnya. Tanah dasar juga menentukan mahal atau tidaknya pembuatan suatu konstruksi jalan yang akan dibuat. Hal ini bisa dimengerti karena tanah dasar, menentukan tebal tipisnya perkerasan yang dibuat di atasnya. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa mempersiapkan *subgrade* merupakan pekerjaan yang bersifat fundamental bagi pembuatan jalan raya maupun landasan pacu. Stabilisasi tanah dasar merupakan suatu hal yang sangat penting bagi pembangunan konstruksi jalan apabila tanah yang akan digunakan sebagai *subgrade* memiliki karakteristik yang tidak baik. Penelitian mengenai perbaikan tanah dasar telah banyak dilakukan dengan berbagai cara seperti penambahan kapur, *portland cement*, *bitumen/road oil*, dan lain-lain. *Portland*

cement merupakan *stabilizing agents* yang baik sekali, mengingat bahwa kemampuannya mengeras dan mengikat butir-butir agregat sangat baik. Hal ini bermanfaat bagi usaha mendapatkan sesuatu massa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. *Portland cement* dapat bereaksi dengan hampir semua jenis tanah, dari jenis kasar non kohesif sampai sangat plastis.

Biasanya pada stabilisasi tanah dasar dengan menggunakan semen perlu ditambahkan suatu *retarder* yaitu bahan untuk memperlambat pengerasan. Bahan yang umum digunakan adalah bahan gips. Untuk mengontrol dan memperlambat waktu pengerasan biasanya dibutuhkan penambahan bahan gips sebesar 2% atau 3 % (Murdock dan Brook, 1991).

Bahan gips banyak digunakan dalam industri-industri semen, farmasi, kedokteran, pengolahan, pabrik kertas, kerajinan, stabilisasi tanah dan lain-lain. Bahan gips yang digunakan dapat berupa gips alam ataupun gips sintetis. Pembuatan bahan baku gips sintetis dapat dilakukan secara sederhana yaitu dengan mengolah batu kapur (kapur tohor) dengan asam sulfat. Hal ini juga ditunjang dengan banyaknya deposit batu kapur yang ada di daerah-daerah di seluruh Indonesia. Pemanfaatan batu kapur dalam masyarakat kita masih terbatas sebagai material bangunan saja, sehingga upaya pemanfaatan deposit kapur tohor menjadi *gypsum* sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mempunyai nilai ekonomis yang tinggi.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan pengaruh tanah gambut yang telah distabilisasi dengan PC dan *gypsum* sebagai *subgrade*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat merekomendasikan penggunaan PC dan *gypsum* sebagai bahan stabilisasi alternatif untuk perancangan pembangunan jalan pada tanah gambut.

1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang dibahas dalam penulisan tesis perlu dilakukan agar dalam penulisan tidak keluar dari inti permasalahan dan menghindari meluasnya penulisan.

Adapun pembatasan masalah yang dilakukan yaitu :

1. Tanah gambut yang akan distabilisasi berasal dari daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah.
2. *Stabilizing agent* yang digunakan adalah *portland cement*.
3. Bahan *gypsum* yang dipakai sebagai *retarder* adalah *gypsum* sintesis ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
4. Uji laboratorium yang dilakukan meliputi pemadatan standar, batas-batas Atterberg, CBR rendaman.
5. Kadar PC digunakan tetap 5% dan kadar *gypsum* bervariasi 0% (tanpa *gypsum*), 5%, 10% dan 15% yang dihitung terhadap berat kering tanah dengan masa perawatan 0 hari, 14 hari dan 28 hari.
6. Data karakteristik campuran diperoleh dari pengamatan atas hasil pengujian di laboratorium yang dibandingkan dengan teori.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Pada konstruksi jalan beban kendaraan dilimpahkan ke lapisan perkerasan melalui roda-roda kendaraan selanjutnya disebarkan ke lapisan-lapisan dibawahnya dan akhirnya diterima oleh tanah dasar. Dengan demikian tingkat kerusakan konstruksi perkerasan selama masa pelayanan tidak saja ditentukan oleh kekuatan dari lapisan perkerasan tetapi juga oleh tanah dasar.

Lapisan tanah dasar (*subgrade*) adalah lapisan terbawah suatu konstruksi perkerasan jalan raya atau landas pacu pesawat terbang dimana diatasnya diletakkan lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapis pondasi atas (*base course*) dan lapisan permukaan (*surface course*). Lapisan tanah dasar dibedakan atas :

- 1) Lapisan tanah dasar, tanah galian.
- 2) Lapisan tanah dasar, tanah timbunan.
- 3) Lapisan tanah dasar, tanah asli.

Tanah gambut dengan sifat yang kurang baik sangat tidak ekonomis apabila dijadikan lapisan tanah dasar suatu konstruksi bangunan sipil. Perlu dilakukan stabilisasi baik mekanis maupun kimiawi.

Daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, kondisi drainase dan lain-lain. Tanah dengan tingkat kepadatan tinggi mengalami perubahan volume yang kecil jika terjadi perubahan kadar air dan mempunyai daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah sejenis yang tingkat kepadatannya lebih rendah. Tingkat kepadatan dinyatakan dalam prosentase berat volume kering (γ_k) tanah terhadap berat volume kering maksimum ($\gamma_{k \text{ maks}}$).

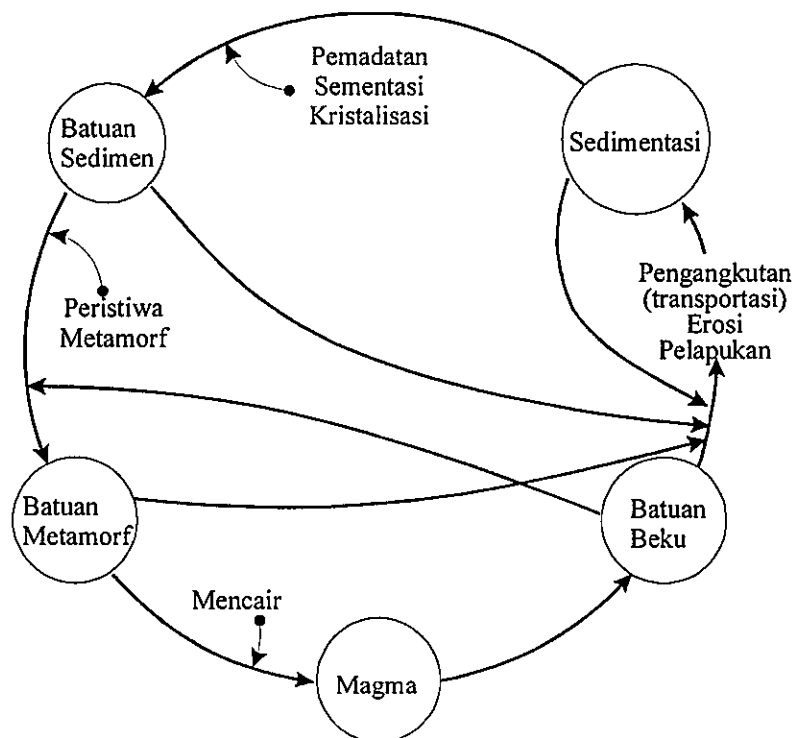
Daya dukung tanah dasar pada perencanaan perkerasan lentur dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*).

2.2. Tanah Dan Batuan

2.2.1. Siklus Batuan

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk, dan komposisi kimia dari butiran.

Berdasarkan asal-usulnya, batuan dapat dibagi menjadi tiga tipe dasar yaitu : batuan beku (*igneous rocks*), batuan sedimen (*sedimentary rock*) dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*). Gambar 2.1 menunjukkan diagram siklus terjadinya beberapa tipe batuan beserta proses pembentukannya.



Gambar 2.1. Siklus batuan.

1. Batuan Beku

Batuan beku terbentuk dari membekunya magma cair yang terdesak ke permukaan (dari bagian yang dalam sekali pada mantel bumi). Sesudah tersembul ke permukaan melewati rekahan-rekahan pada kulit bumi (*fissure eruption*) atau melalui gunung berapi (*vulcano eruption*), sebagian dari magma tersebut mendingin di permukaan bumi dan membatu. Kadang-kadang magma tersebut berhenti bergerak sebelum sampai ke permukaan bumi dan mendingin di dalam kulit bumi dan membentuk batuan beku dalam (*plutonic rock*). Beberapa jenis batuan beku antara lain : granit, gabbro, diorit, riolit, basal, obsidian, batu apung dan skoria.

2. Batuan Sedimen

Deposit-deposit tanah dari kerikil, pasir, lanau dan lempung hasil pelapukan dapat menjadi lebih padat karena adanya tekanan lapisan tanah di atasnya dan adanya proses sementasi antar butiran oleh unsur-unsur sementasi seperti oksida besi, kalsit, *dolomite* dan *quartz*. Unsur-unsur sementasi tersebut biasanya terbawa dalam larutan air tanah. Unsur-unsur tersebut mengisi ruang-ruang di antara butiran dan kemudian membentuk batuan sedimen. Batuan yang terbentuk dengan cara ini disebut batuan sedimen *detrital*. Tipe batuan sedimen *detrital* yaitu : serpih, batu pasir, konglomerat (*conglomerate*).

Batuan sedimen dapat terbentuk melalui proses kimia, dan batuan yang terjadi karena cara ini diklasifikasikan sebagai batuan sedimen kimia. Contoh batuan sedimen kimia yaitu : batu kapur, batu gamping, dolomit, evaporit (*evaporitas*).

Batuan sedimen berasal dari proses biokimia atau organis terdiri dari : *coquina*, batu gamping karang, kapur (*chalk*), karang (*coral*) dan batubara (*coal*).

3. Batuan Metamorf

Peristiwa metamorf adalah proses perubahan komposisi dan tekstur dari batuan akibat panas dan tekanan tanpa pernah menjadi cair. Batu tulis (*sabak*), sekis (*shist*), genes (*gneiss*), kuarsit (*quartzite*), marmer (*marble*) dan antrasit (*anthracite*).

2.2.2. Pembentukan Tanah Akibat Pelapukan

Tanah dapat diklasifikasikan sesuai dengan metode pembentukan deposit, sebagai tanah residu atau tanah yang dipindahkan. Tanah residu (*residual soil*) ialah tanah yang terbentuk pada lokasinya yang sekarang melalui pelapukan batuan. Tanah ini biasanya disebut tanah laterit

Pada kenyataannya tidak semua jenis tanah terbentuk dari pelapukan batuan baik itu batuan beku, sedimen ataupun metamorf, akan tetapi terbentuk dari pelapukan bahan-bahan organik. Tanah seperti ini kita kenal sebagai tanah gambut (*peat*). Tanah Gambut adalah campuran dari fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuhan yang telah membusuk dan perubahannya secara kimiawi serta telah menjadi fosil.

Proses pembentukan gambut dipengaruhi berbagai faktor yaitu : iklim, hujan, peristiwa pasang surut, jenis vegetasi rawa, topografi beberapa aspek geologi serta hidrologi daerah setempat.

Tanah gambut terbentuk dari unsur-unsur organik seperti Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O) dan Nitrogen (N) serta sedikit unsur anorganik yaitu Silicon (Si), Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg).

2.2.3. Partikel Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan

organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separate-size limits*). Pada Tabel 2.1 ditunjukkan batasan-batasan ukuran tanah yang telah dikembangkan oleh *Massachussetts Institute of Technology (MIT)*, *U.S. Departement of Agriculture (USDA)*, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* dan *Unified Soil Classification System (USCS)*.

Tabel 2.1. Batasan-batasan ukuran tanah.

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
MIT	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
USDA	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
AASHTO	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
USCS	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (lanau dan lempung) < 0,0075	

Batasan-batasan ukuran partikel untuk material tanah gambut ditunjukkan pada *ASTM Standard No. D 2977*. ASTM membedakan tanah gambut menjadi tiga yaitu serat kasar (*coarse fiber*), serat sedang (*medium fiber*) dan serat halus (*fine fiber*). Ukuran serat ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ukuran partikel tanah gambut menurut ASTM D 2977.

Serat	Ukuran
Serat kasar (<i>coarse fiber</i>)	Tertahan saringan no. 8 (2,360 mm)
Serat sedang (<i>medium fiber</i>)	Tertahan saringan no. 20 (0,850 mm)
Serat halus (<i>fine fibers/fines</i>)	Lolos saringan no. 20

2.2.4. Tanah Gambut

Berdasarkan kadar bahan organik tanah dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

- 1). Tanah mineral yaitu tanah yang mengandung bahan organik berkisar kurang dari hingga 30%.
- 2). Tanah organik dengan kadar bahan organik lebih besar dari 30%.

Tanah organik terbentuk dari pengaruh iklim dan curah hujan yang cukup tinggi dan cukup merata sepanjang tahun. Topografi yang tidak rata sehingga memungkinkan terbentuknya depresi-depresi. Vegetasi berupa hutan berdaun lebar dengan cekungan sehingga terdapat air dan terjadi akumulasi bahan organik.

Hal ini disebabkan suasana anaerob menghambat proses oksidasi bahan organik oleh jasad renik, sehingga lebih dominan terjadi proses humifikasi daripada proses mineralisasi. Penguraian mineral organik hanya dilakukan oleh bakteri-bakteri anaerob, cendawan dan ganggang. Oleh karenanya kecepatan dekomposisi dipengaruhi oleh jenis dan jumlah bakteri anaerob, sifat vegetasi asal, iklim dan topografi.

Adapun ciri-ciri tanah gambut secara umum dapat diuraikan sebagai berikut :

1). Warna

Salah satu ciri tanah gambut secara visual dapat dilihat dari warnanya. Mac Farlane, I.C (1959) memberikan warna coklat tua sampai kehitaman sebagai salah satu ciri tanah gambut. Meskipun bahan asalnya berwarna abu-abu, coklat atau kemerahan, namun setelah mengalami pembusukan (dekomposisi) selanjutnya diikuti dengan munculnya senyawa-senyawa humik yang berwarna gelap. Perubahan yang dialami bahan organik kelihatan sama dengan yang dialami bahan organik tanah mineral, meskipun aerasi tanah gambut terbatas.

2). Kadar Air Dan Kapasitas

Tanah gambut mempunyai kapasitas lapang (*field capacity*) yang tinggi bahkan sangat tinggi, kapasitas ini ditunjukkan dengan kemampuan menahan air yang dimiliki tanah gambut yaitu berkisar antara 2 - 4 kali bobot keringnya. Akan halnya gambut (*moss peat*) yang belum mengalami dekomposisi lebih lanjut memiliki kapasitas menahan air yang jauh lebih besar, yaitu sekitar 12 - 20 kali bobot keringnya. Sifat menahan air yang tinggi ini ditunjukkan dengan besarnya kadar air (*water content*) dari tanah gambut.

3). Struktur

Ciri lain dari tanah gambut yang mudah diketahui adalah dari strukturnya yang mudah dihancurkan dalam keadaan kering. Bahan organik yang sudah mengalami pembusukan bersifat koloidal dan mempunyai kohesi serta plastisitas yang rendah. Suatu tanah dengan kandungan bahan organik yang baik adalah mudah dilewati air atau bersifat *porous*. Sifat ini tidak baik untuk bahan konstruksi sipil. Sehubungan dengan sifat *porous*, sifat konduktifitas (permeabilitas) tanah gambut cukup tinggi, besarnya tergantung pada :

- a). Jumlah materi mineral yang ada.
- b). Derajat konsolidasi.
- c). Tingkat komposisi.

2.3. Klasifikas Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Klasifikasi tanah dibedakan

berdasarkan tekstur dan berdasarkan pemakaiannya. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada uraian dibawah.

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

Tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Berdasarkan sistem ini tanah dibagi menjadi tiga yaitu :

- a) Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
- b) Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm.
- c) Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.

2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur terlalu sederhana karena hanya berdasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Padahal dalam kenyataan di lapangan jumlah dan jenis dari meterial lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena perlu memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung untuk menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Sistem pengklasifikasian tanah yang digunakan saat ini memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi tanah tersebut adalah :

1). Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Sistem ini diuraikan pertama kali oleh Casagrande pada tahun 1948 untuk pembangunan lapangan terbang kemudian di modifikasi tahun 1952 oleh *the Corps of Engineers and the U.S. Bureau of Reclamation* agar dapat dipakai pada bendungan dan konstruksi-konstruksi lainnya.

Kelompok-kelompok tanah utama pada sistem ini diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kelompok-kelompok tanah utama sistem klasifikasi tanah Unified.

Jenis tanah	Prefiks	Subkelompok	Sufiks
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlumpur	C
Lanau	M		
Lempung	C	wL < 50 persen	L
Organis	O	wL > 50 persen	H
Gambut	Pt		

Kelompok tanah ditentukan dengan simbol kelompok terdiri dari sebuah prefiks dan sebuah sufiks. Prefiks menunjukkan jenis tanah utama dan sufiks menunjukkan subdevisi di dalam kelompok-kelompok.

Sistem klasifikasi tanah Unified mendefinisikan tanah sebagai :

- a). Berbutir kasar apabila lebih dari 50 persen tertahan pada saingan No. 200.
- b). Berbutir halus apabila lebih dari 50 persen dapat melalui saringan No. 200.

2). Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem AASHTO dikembangkan tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Pada sistem ini tanah dikelompokkan dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos saringan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran A-4 sampai A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau atau lempung. Kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan, tetapi merupakan gambut atau rawang yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini :

a). Ukuran butiran

Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan No. 20.

Pasir : bagian tanah yang lolos saringan No. 10 (2 mm) dan tertahan pada saringan No. 200.

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos saringan No. 200.

b). Plastisitas

Berlanau dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang. Berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

Perbandingan antara kelompok klasifikasi tanah AASHTO dan Unified dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Perbandingan kelompok klasifikasi tanah AASHTO dan Unified.

AASHTO	Unified
A-1a	GW, GP, SW, GM
A-1b	SW, SP, SM, GC
A-3	SP
A-2-4	CL, ML
A-2-5	CL, ML, CH, MH
A-2-6	CL, ML
A-2-7	CL, ML, CH, MH
A-4	CL, ML
A-5	CL, ML, CH, MH
A-6	CL, ML
A-7	CL, ML, CH, MH
A-8	Gambut dan rawang organis lain

Pada sistem klasifikasi AASTHO gambut dikelompokkan pada kelompok tanah A-8, pengklasifikasiannya berdasarkan visual. Sedangkan Unified melambangkan gambut dengan simbol Pt. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah : *peat* (gambut), *muck*, dan

tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi. Tanah gambut menurut ASTM dan Mac. Farlane diklasifikasikan berdasarkan besar prosentase kadar abu, kadar serat dan kemampuan menyerap air.

1. Sistem Klasifikasi Tanah Gambut Menurut ASTM (ASTM D 4427)

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah gambut menurut ASTM

		Batasan
A	Kadar Abu	
1	<i>Low Ash</i>	< 5%
2	<i>Medium Ash</i>	5% - 15%
3	<i>High Ash</i>	> 15%
B	Kadar Serat	
1	<i>Fabric</i>	> 67%
2	<i>Hemic</i>	33% - 67%
3	<i>Saptic</i>	< 33%
C	Kemampuan menyerap air (<i>Absorbency</i>)	
1	<i>Extremely Absorbent</i>	>1500%
2	<i>Highly Absorbent</i>	800% - 1500%
3	<i>Moderately Absorbent</i>	> 300% dan < 800%
4	<i>Slightly Absorbent</i>	≤ 300%

2. Sistem Klasifikasi Tanah Gambut Menurut Mac. Farlane

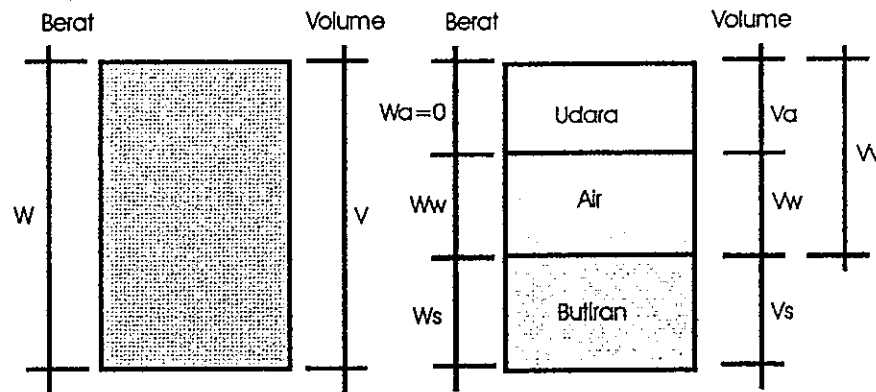
Tabel 2.6. Klasifikasi tanah gambut menurut Mac. Farlane

No.		Kadar Serat
1	<i>Fibrouse Peat</i>	≥ 20
2	<i>Amorphous granular peat</i>	< 20

- a) *Fibrouse peat* : Jenis gambut ini mempunyai dua jenis pori yaitu makropori (pori antar serat) dan mikropori (pori yang ada dalam serat).
- b). *Amorphous granular peat* : Jenis gambut ini terdiri dari butiran dengan ukuran koloidal (2μ) dan sebagian besar air porinya terserap disekeliling permukaan butiran tanah gambut.

2.4. Sifat Fisis dan Indeks Tanah

2.4.1. Definisi Dasar Dan Hubungan Volume - Berat



Gambar 2.2. Diagram fase tanah.

Pada Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa tanah itu terdiri dari :

- 1). Pori atau ruang kosong (*voids*), yang merupakan ruang-ruang terbuka antara butir-butir tanah dengan berbagai ukuran.
- 2). Butir-butir tanah, baik berukuran makroskopis atau mikroskopis. Makroskopis adalah partikel-partikel tanah yang dapat dilihat dengan mata, sedangkan mikroskopis hanya bisa dilihat dengan bantuan mikroskop atau alat pembesar lainnya. Mikroskopis walaupun tidak dapat terlihat oleh mata tetapi bukan berarti jumlahnya sedikit.
- 3). Kelembaban tanah, yang akan menyebabkan tanah terlihat basah, lembab ataupun kering. Air di dalam pori atau ruang kosong disebut air pori.

Pori-pori tanah yang tidak berisi tanah sudah tentu akan penuh dengan udara dan atau uap air. Tetapi apabila semua ruang kosong terisi air maka berat yang dihasilkan adalah berat satuan jenuh (*saturated*) γ_{sat} dari tanah. Apabila tanah diletakkan pada oven dan dikeringkan sampai ke suatu berat konstan, berat yang dihasilkan adalah berat satuan kering (*dry*) γ_d dari tanah.

Berat satuan tanah adalah berat per satuan volume. Jadi,

$$\gamma = \frac{\text{berat material}}{\text{volume material}} \dots\dots\dots (2-1)$$

atau

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2-2)$$

Kadang berat satuan tanah atau berat volume dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air dan volume total.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[1 + \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \right]}{V} = \frac{W_s(1+w)}{V} \dots\dots\dots (2-3)$$

keterangan :

W_s = berat butiran tanah

W_w = berat air

γ = berat volume

Berat volume (*unit weight*) yang didefinisikan dengan Persamaan (2-2) disebut juga berat volume basah (*moist unit weight*).

Berat satuan kering tanah atau berat volume kering (*dry unit weight*) adalah berat kering per satuan volume.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dari Persamaan (2-3) dan (2-4) hubungan antara berat volume, berat volume kering dan kadar air dapat ditulis sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \dots\dots\dots (2-5)$$

keterangan :

γ_d = berat volume kering

w = kadar air

Kerapatan tanah (*density*), ρ adalah perbandingan antara massa material tanah dengan volume.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2-6)$$

dan

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \dots\dots\dots (2-7)$$

keterangan :

ρ = kerapatan (*density*)

ρ_d = kerapatan tanah kering

m = massa total tanah

m_s = massa butiran padat tanah

Hubungan volume dan berat pada suatu tanah adalah :

1. Angka pori (*void ratio*) e didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Dapat ditunjukkan pada Persamaan (2-8).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2-8)$$

Persamaan (2-8) menunjukkan bahwa batas-batas yang mungkin bagi angka pori (e) adalah

$$0 < e \leq \infty$$

2. Porositas (*porosity*), n didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total, atau

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (2-9)$$

3. Derajat kejenuhan (*degree of saturation*), S didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots (2-10)$$

4. Kadar Air (*water content*), w didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots (2-11)$$

Persamaan (2-11) memberikan kadar air sebagai variabel bebas, oleh karena W_s adalah konstan untuk kondisi tanah dalam keadaan tetap (*steady state*).

Batas-batas kadar air adalah

$$0 \leq w, \text{ persen} \leq \infty$$

Suatu hal yang biasa untuk tanah-tanah di dasar laut atau tanah-tanah organik untuk mempunyai nilai kadar air sampai 300 – 400 persen, tetapi kadar air alami untuk sebagian besar tanah biasanya berada di bawah 60 persen.

5. Berat jenis (*specific gravity*), G_s didefinisikan sebagai perbandingan antara berat isi butir-butir tanah dengan berat air pada volume yang sama dan diukur pada suhu tertentu.

$$G_s = \frac{\text{Berat butir}}{\text{Berat air dengan volume yang sama}} \dots\dots\dots (2-12)$$

Atau

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} \dots\dots\dots (2-13)$$

Berat jenis untuk tiap jenis tanah berbeda-beda. Pada Tabel 2.6 disajikan mengenai G_s berbagai jenis tanah.

Tabel 2.7. Berat jenis untuk berbagai macam tanah.

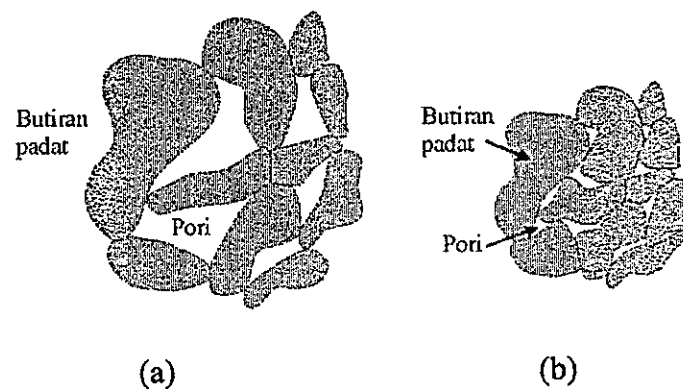
Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil (<i>Gravel</i>)	2,65 – 2,68
Pasir (<i>Sand</i>)	2,65 – 2,68
Pasir kwarsa (<i>Quartz sand</i>)	2,64 – 2,66
Lanau (<i>Silt</i>)	2,66 – 2,7
Lempung (<i>Clay</i>)	2,68 – 2,8
Kapur (<i>chalk</i>)	2,60 – 2,75
Gambut (<i>Peat</i>)	1,3 – 1,9

2.4.2. Struktur Tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah bentuk, ukuran dan komposisi material dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Secara umum tanah dimasukkan ke dalam dua kelompok yaitu : tanah tak berkohesi (*cohesionless soil*) dan tanah kohesif (*cohesive soil*).

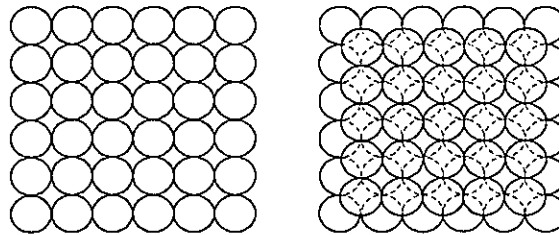
1. Struktur Tanah Tak Kohesif

Struktur tanah tak berkohesi pada umumnya dapat dibagi dalam dua kategori pokok : struktur butir tunggal (*single-grained*) dan struktur sarang lebah (*honeycombed*). Pada struktur butir tunggal, butiran tanah berada dalam posisi stabil dan tiap-tiap butiran bersentuhan satu sama lain. Bentuk dan pembagian ukuran butiran tanah serta kedudukannya mempengaruhi sifat kepadatan tanah (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Struktur butir tunggal (a) lepas, (b) padat.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang variasi angka pori yang disebabkan oleh kedudukan butiran, perhatikan suatu susunan yang terdiri dari butiran yang bulat dan berukuran sama seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



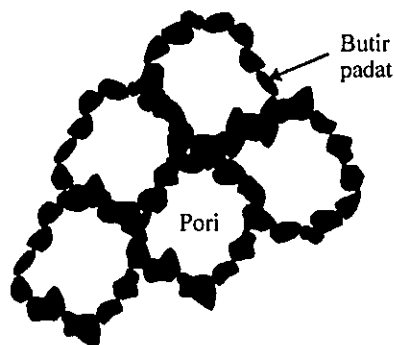
(a). Sangat lepas ($e = 0,91$) (b). Sangat padat ($e = 0,35$)

Gambar 2.4. Model susunan butiran yang bulat dan berukuran sama (tampak atas) :
(a) susunan yang sangat lepas, (b) susunan yang sangat padat.

Untuk suatu susunan dalam keadaan yang sangat lepas, angka pori adalah 0,91. Tetapi angka pori berkurang menjadi 0,35 bilamana butiran bulat dengan ukuran sama tersebut diatur sedemikian rupa hingga susunan menjadi sangat padat. Keadaan tanah asli berbeda dengan model karena butiran tanah asli tidak mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Pada tanah asli, butiran dengan ukuran terkecil menempati rongga diantara butiran besar. Keadaan ini menunjukkan kecenderungan terhadap pengurangan angka pori tanah. Tetapi, ketidakrataan bentuk butiran pada umumnya menyebabkan adanya kecenderungan terhadap penambahan angka pori dari tanah. Sebagai akibat dari dua faktor tersebut, maka angka pori yang didapat tanah asli kira-kira masuk dalam rentang yang sama seperti angka pori yang didapat dari model tanah di mana bentuk dan ukuran butiran adalah sama.

Pada struktur sarang lebah (Gambar 2.5), pasir halus dan lanau membentuk lengkung-lengkung kecil hingga merupakan rantai butiran. Tanah yang mempunyai struktur sarang-lebah mempunyai angka pori besar dan biasanya dapat memikul beban statis yang tak begitu besar. Tetapi, apabila struktur tersebut dikenai beban berat atau

apabila dikenai beban bergetar, struktur tanah akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar.



Gambar 2.5. Struktur sarang lebah.

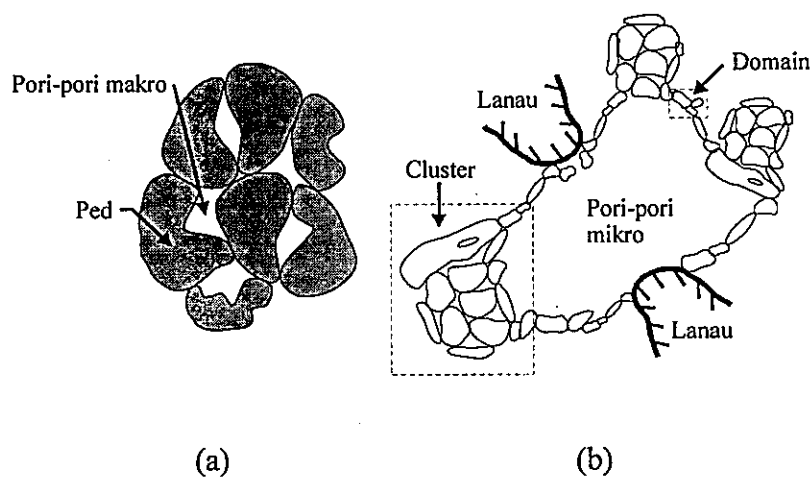
Tanah gambut termasuk tanah tidak kohesif karena butir-butir tanah terpisah pisah sesudah dikeringkan dan bersatu dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air.

2. Struktur Tanah Kohesif

Untuk dapat mengerti dasar dari struktur tanah kohesif, perlu diketahui tipe dari gaya-gaya yang bekerja antara butir-butir tanah lempung yang terlarut dalam air. Pada umumnya tanah lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Muatan negatif dinetralkan oleh adanya *exchange cations* (ion-ion positif yang mudah berganti dengan yang lain) seperti Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ dan K^+ yang mengelilingi partikel lempung tersebut dan terikat pada partikel oleh gaya tarik menarik elektostatik. Bila air kemudian ditambahkan kepada lempung tersebut, kation-kation tersebut dan sejumlah kecil anion-anion (ion bermuatan negatif) akan berenang diantara partikel-partikel itu. Keadaan ini disebut sebagai lapisan ganda terdefusi (*deffuse double layer*). Bilamana dua butiran lempung dalam larutan terletak berdekatan satu terhadap yang lain, lapisan ganda terdefusi dari kedua butiran tersebut akan menyebabkan gaya tolak-menolak. Pada waktu yang sama, timbul juga gaya tarik menarik antar butiran lempung yang disebabkan oleh gaya Van Der Waal yang tidak tergantung pada sifat

air. Kedua gaya tolak-menolak dan tarik-menarik ini akan bertambah dengan berkurangnya jarak antara partikel-partikel lempung tetapi kecepatan penambahan untuk kedua gaya tersebut tidak sama. Bilamana jarak antara partikel-partikel sangat kecil, gaya tarik-menarik adalah lebih besar daripada gaya tolak-menolak.

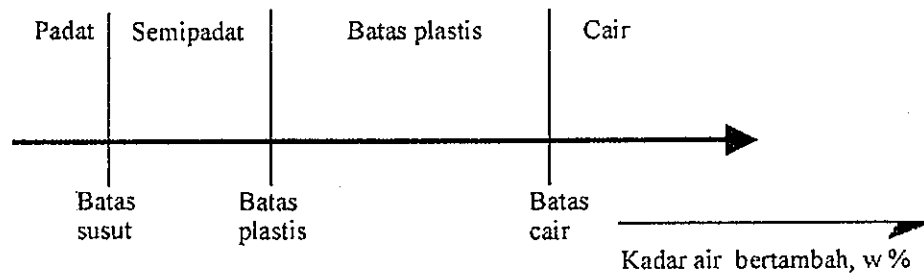
Deposit tanah yang terdiri atas mineral lempung saja ternyata jarang ditemui. Maka dari itu, bilamana suatu tanah mengandung 50% atau lebih partikel dengan ukuran 0,002 mm atau kurang, biasanya tanah tersebut dinamakan lempung. Studi dengan alat *scanning electron microscopes* menunjukkan bahwa tiap-tiap partikel lempung cenderung untuk menggumpal dalam ukuran-ukuran yang kecil. Gumpalan-gumpalan kecil tersebut dinamakan *domain*. Beberapa domain kemudian bersama-sama membentuk kelompok yang dinamakan *cluster*. *Cluster* dapat dilihat dengan alat mikroskop biasa. Beberapa *cluster* mengelompok bersama-sama membentuk *ped*, pengelompokan *cluster-cluster* disebabkan karena adanya gaya antar partikel. *Ped* dapat dilihat tanpa mikroskopis. Kelompok dari *ped* merupakan suatu struktur makro yang lengkap dengan sambungan dan retakan. Susunan beberapa *ped* dengan pori-pori makro (*macropori*) dan pori-pori mikro (*micropori*) ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur tanah (a) susunan *ped-ped* dan ruang pori makro. (b) susunan domain-domain dan cluster-cluster dengan butiran berukuran lanau.

2.4.3. Batas Atterberg (Konsistensi)

Atterberg sekitar tahun 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah. Batas-batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air. Gambar 2.7 memperlihatkan lokasi-lokasi dari batas-batas plastis dan cair suatu tanah.



Gambar 2.7. Lokasi-lokasi relatif dari batas-batas plastis dan cair suatu tanah.

1. Batas Cair (*Liquid Limit*), w_L .

Batas cair atau *Liquid Limit* adalah kadar air tanah pada keadaan batas peralihan antara keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*), w_P

Batas plastis atau *Plastic Limit* adalah kadar air minimum tanah dalam keadaan plastis atau kadar air pada batas bawah daerah plastis.

3. Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas atau *Plasticity Index* (PI) adalah selisih antara batas cair (w_L) dan batas plastis (w_P).

$$I_p = w_L - w_P \quad \dots \dots \dots (2-14)$$

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis.

Karena itu indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan dari suatu jenis tanah.

Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah dan kohesinya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.8. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.

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

Jika salah satu, antara batas plastis dan batas cair tidak dapat ditentukan sehingga indeks plastisitas tidak dapat dihitung maka benda uji tersebut non plastis. Dan apabila batas plastis ternyata lebih besar daripada batas cair maka indeks plastisitas adalah nol dan dilaporkan sebagai non plastis ASTM D 4318-95a (1997).

Satu hal yang penting untuk tanah berbutir halus adalah sifat plastisitas. Sifat plastisitas adalah kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak.

2.5. Stabilisasi tanah

Kondisi tanah di lapangan tidak selalu mendukung untuk dilaksanakan suatu konstruksi bangunan sipil. Apabila tanah yang dihadapi bersifat sangat lepas, sangat mudah tertekan, mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas yang tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan 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.

Tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil pada semua kondisi musim dan selama umur rencana. *Subgrade* disyaratkan untuk mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas, sehingga *subgrade* harus merupakan lapisan yang cukup padat dan volumenya tidak berubah menjadi besar selama musim hujan. Stabilisasi tanah adalah usaha mempertinggi kemampuan jenis tanah untuk mendapatkan pemadatan yang optimal. Adapun metode-metode stabilisasi yang dikenal adalah sebagai berikut :

1. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis adalah penambahan kekuatan atau daya dukung tanah dengan jalan mengatur gradasi tanah yang dimaksud. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dimana mempunyai fraksi tanah (lolos saringan no. 200) paling besar 25%.

Tanah yang telah berhasil distabilisasi secara mekanis ini akan memiliki kemampuan tertentu terhadap deformasi oleh muatan lalu lintas yang bekerja di atasnya. Hal ini disebabkan karena adanya kait mengkait dan geseran antar butiran tanah serta daya antar butiran tanah oleh bagian yang halus dan kestabilan akan tercapai setelah diberi usaha pemadatan yang cukup.

2. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi pada tanah adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya dilakukan untuk tanah yang berbutir halus. Bahan pencampur yang dipergunakan untuk stabilisasi disebut *stabilizing agent* karena setelah diadakan pencampuran menyebabkan tanah menjadi lebih stabil. Bahan pencampur yang digunakan seperti semen *portland*, gamping, abu batubara (*fly ash*), semen aspal, sodium dan lain-lain.

Stabilisasi tanah gambut sebagai media dengan bahan pencampur *portland cement* dan *gypsum* yang dilakukan dalam penelitian tesis ini termasuk dalam stabilisasi secara kimiawi. Dimana *portland cement* berfungsi untuk mengerasakan tanah dan *gypsum* berfungsi untuk menyerap air dan memperlambat proses pengerasan *portland cement*.

2.5.1. Stabilisasi Portland Cement Dan Gypsum

2.5.1.1. Portland Cement (PC)

Murdock dan Brook (1991) menyatakan bahwa hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur (CaO) yang posisinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen serta menyebabkan terjadinya disintegrasi (perpecahan) semen setelah timbul ikatan. Kadar kapur yang tinggi tapi tidak berlebihan, cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan kapur menghasilkan semen yang lemah dan bilamana kekurangsempurnaan pembakarannya menyebabkan ikatan yang cepat.

Silika (SiO_2) dalam kadar tinggi yang biasanya disertai *alumina* (Al_2O_3) dengan kadar rendah akan menghasilkan semen dengan ikatan lambat dengan kekuatan tinggi serta mampu meningkatkan ketahanan terhadap agresi kimia. Dan sebaliknya, apabila alumina pada kadar tinggi dan *silika* pada kadar rendah akan menghasilkan semen dengan daya ikat cepat dengan kekuatan tinggi.

Kandungan magnesia (MgO) dibatasi sampai 4%, jumlah yang lebih banyak akan berakibat kurang baik pada mutu semen.

Ketika semen dicampur dengan air timbullah reaksi kimia antara campuran yang terkandung dengan air. Pada tingkat awal sejumlah *retarder* (gips) cepat terlarut dan dapat berpengaruh terhadap reaksi-reaksi kimia lain yang mulai berlangsung. Reaksi-

reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Ada empat yang paling penting yaitu :

1). *Tricalcium Aluminate* (C_3A) atau $3CaO \cdot Al_2O_3$

- a). Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas.
- b). Menyebabkan pengerasan awal tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas
- c). Kurang ketahanannya terhadap agresi kimiawi.
- d). Paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air-tanah.
- e). Tendensinya sangat besar untuk retak-retak oleh perubahan volume.

2). *Tricalcium Silikat* (C_3S) atau $3CaO \cdot SiO_2$

- a). Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas.
- b). Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada awal umur rencana terutama 14 hari pertama.

3). *Dicalcium Silikat* (C_2S) atau $2CaO \cdot SiO_2$

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap progres peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai 18 hari dan seterusnya. Semen yang mempunyai proporsi *dicalcium silikat* banyak mempunyai ketahanan terhadap agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan kering yang relatif rendah, oleh karenanya merupakan *portland cement* yang paling awet.

4). *Tetra Calcium Alumino Ferrite* (C_4AF) atau $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Adanya senyawa *alumino ferrite* kurang penting karena tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan mengeras menghasilkan beton.

Reaksi-reaksi kimia yang diuraikan diatas berlangsung pada formasi suatu campuran gel dan kristal dari larutan semen dengan air, yang menimbulkan adhesi dan daya tarik fisik satu dengan lainnya yang berangsur-angsur saling ikat dan mengeras menghasilkan beton.

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. AASTHO (1974) membedakan kandungan senyawa *portland cement* dari berbagai tipe seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Kandungan senyawa *portland cement*

Komposisi campuran	Tipe <i>Portland Cement</i>				
	I.IA	II.IIA	III.IIIA	IV	V
SiO ₂ , min %	-	21	-	-	-
Al ₂ SO ₄ , max %	-	6	-	-	-
Fe ₂ O ₃ , max %	-	6	-	6,5	-
MgO, max %	5	5	5	5	5
SO ₃ , max %					
- 3CaO.Al ₂ O ₃ > 8%	3	3	3,5	2,3	3
- 3CaO.Al ₂ O ₃ < 8%	3,5	3	4,5	-	-
Kehilangan nyala, max %	3	3	3	2,5	3
Sisa tak dapat larut, max %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
(3CaO.SiO ₂) ² , min %	-	-	-	40	-
(2CaO.SiO ₂), min %	15	8	15	7	5
(4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ + 2(3CaO.Al ₂ O ₃)atau (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ + 2CaO.Fe ₂ O ₃)	-	-	-	-	20

Tipe I : *Portland cement* untuk penggunaan umum yang kita tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.

Tipe II : *Portland cement* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

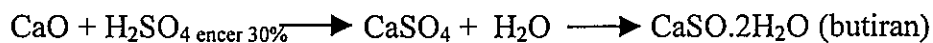
Tipe III : *Portland cement* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.

Tipe IV : *Portland cement* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Tipe V : *Portland cement* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.5.1.2. *Gypsum*

Menurut Bagus Prayitno (1997) *gypsum* sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) merupakan fraksi dari *hydrated lime* yaitu *calcium sulfat dihydrate* yang merupakan reaksi penggaraman dan penguapan adalah sebagai berikut :

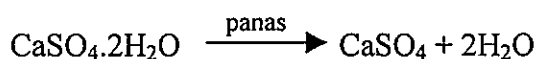


Dalam keadaan murni *gypsum* sintesis berwarna putih salju.

Menurut Cambell, dkk (1985) mengatakan bahwa *gypsum* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sangat berguna sebagai bahan industri karena :

- a) Mudah larut dalam hidrasi air ketika dipanaskan.
- b) Ketika air ditambahkan, ia akan kembali pada hidrat semula, mengumpulkan dan memperkeras hasil *gypsum*. Dua fenomena tersebut adalah dehidrasi dan rehidrasi adalah dasar teknologi *gypsum*.

Dehidrasi :



Rehidrasi :



Ditambahkan lagi bahwa *Calcium Sulfat Dihydrate* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) adalah material awal sebelum dehidrasi dan produk akhir setelah rehidrasi. Kuantitas substansial dari *gypsum* digunakan sebagai pemerlambat (*retarder agent*) pengerasan semen.

2.6. Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan memakai energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapat dengan adanya pemadatan :

- 1). Bertambahnya kekuatan tanah.
- 2). Pengurangan penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Kontrol spesifikasi untuk pemadatan tanah kohesif dikembangkan oleh Proctor, R.R (1933). Dengan alasan tersebut maka prosedur dinamis laboratorium yang standar biasa disebut percobaan "Proctor".

Proctor, R.R (1933) mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah yaitu :

- 1). Usaha pemadatan (energi).
- 2). Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
- 3). Kadar air.
- 4). Berat satuan kering.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air yang ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel tanah. Karena dengan adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan mudah bergerak dan bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat.

Usaha pemadatan dan energi [*compaction effort and energi* (CE)] adalah merupakan pengukuran dari energi mekanis yang dikerjakan terhadap suatu massa tanah. Di laboratorium CE dibentuk dari impak (yang biasa dilakukan), menekan (*kneading*), atau dengan tekanan statis. Selama impak suatu palu dijatuhkan dari tinggi tertentu beberapa

kali untuk beberapa lapisan tanah di dalam suatu acuan (*modal*) untuk menghasilkan suatu contoh dengan volume tertentu. Ukuran dan bentuk palu, jumlah jatuhnya, jumlah lapisan dan volume acuan telah dispesifikasikan dalam percobaan standar oleh ASTM dan AASHTO. Spesifikasi ini ditunjukkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Elemen-elemen dari percobaan pemadatan standar.

	Standar ASTM D 698	Modifikasi ASTM D 1557
Palu	24,5 N (5,5 lb)	44,5 N (10lb)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12 in)	457 mm (18 in)
Jumlah lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume acuan	102 mm (4 in)	
tanah	(-) saringan No. 4	
Energi pemadatan (CE)	595 kJ/m ³ (12.400)	2698 kJ/m ³ (56.250 lb.ft ³)

Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (saat dipadatkan) meningkat. Pada saat kadar air $w = 0$, berat volume basah dari tanah (γ) adalah sama dengan berat volume kering (γ_d) atau

$$\gamma = \gamma_{d(w=0)} = \gamma_1 \dots\dots\dots (2-15)$$

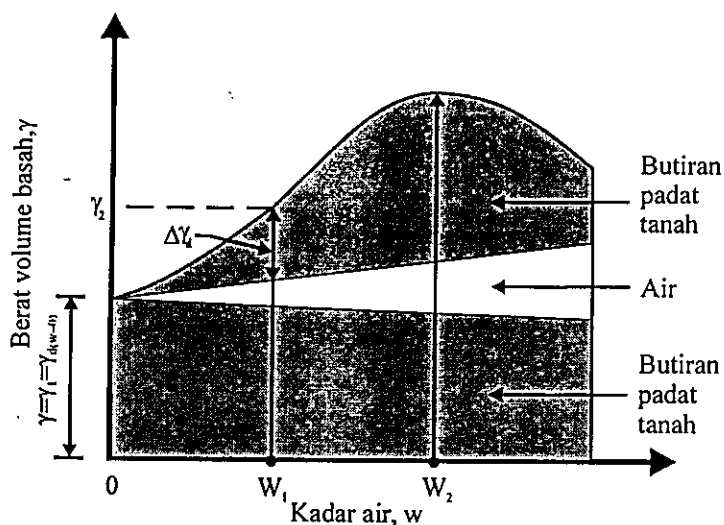
Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah per satuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya, pada $w = w_1$ berat volume basah dari tanah sama dengan :

$$\gamma = \gamma_2 \dots\dots\dots (2-16)$$

Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam :

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d \dots\dots\dots (2-17)$$

Tetapi setelah mencapai kadar air tertentu $w = w_2$ (Gambar 2.8), adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat tanah.



Gambar 2.8. Prinsip pemadatan

Nilai puncak dari berat satuan kering disebut kerapatan kering maksimum. Kadar air pada kerapatan maksimum disebut kadar air optimum [*optimum moisture content (OMC)*]. Sebuah garis angka pori nol (*zero air void*) dapat digambarkan dan selalu berada diatas kurva pemadatan apabila nilai G_s yang benar telah dipergunakan. Garis *zero air void* (ZAV) menunjukkan kerapan kering ketika kejenuhan (*saturation*) adalah 100 persen, dan langsung dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.18.

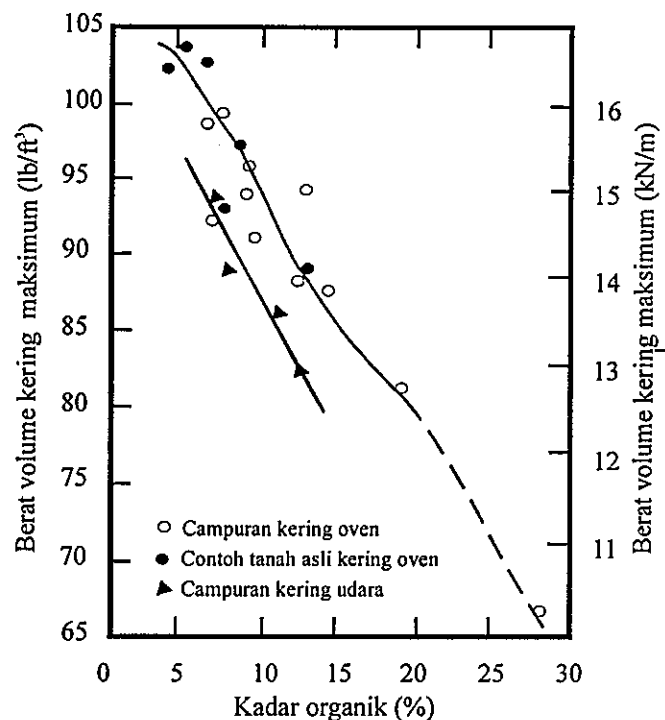
$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} \dots\dots\dots (2-18)$$

2.6.1. Pemadatan Tanah Organik

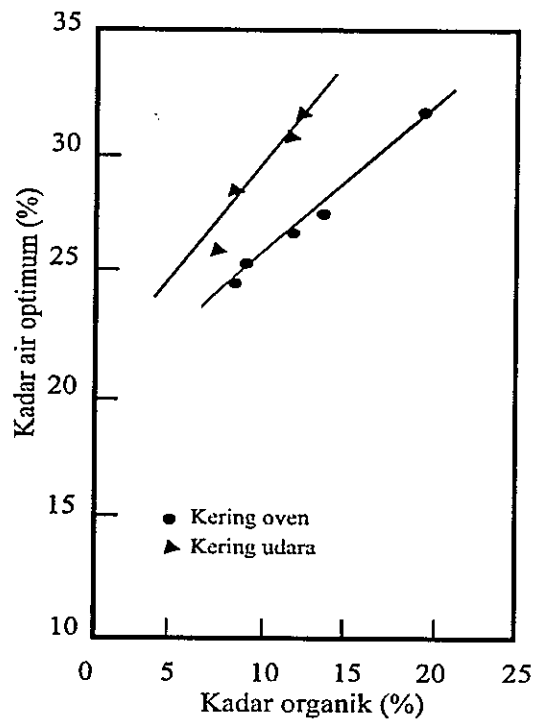
Adanya bahan-bahan organik pada suatu tanah cenderung mengurangi kekuatan tanah tersebut. Kadar organik ($OC = \text{organic content}$) dari suatu tanah didefinisikan sebagai berikut (Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).

$$OC = \frac{\text{Kehilangan berat kering akibat pemanasan oven } 105^\circ \text{ C sampai } 400^\circ \text{ C}}{\text{Berat kering tanah pada suhu } 105^\circ \text{ C}} \dots\dots\dots (2-19)$$

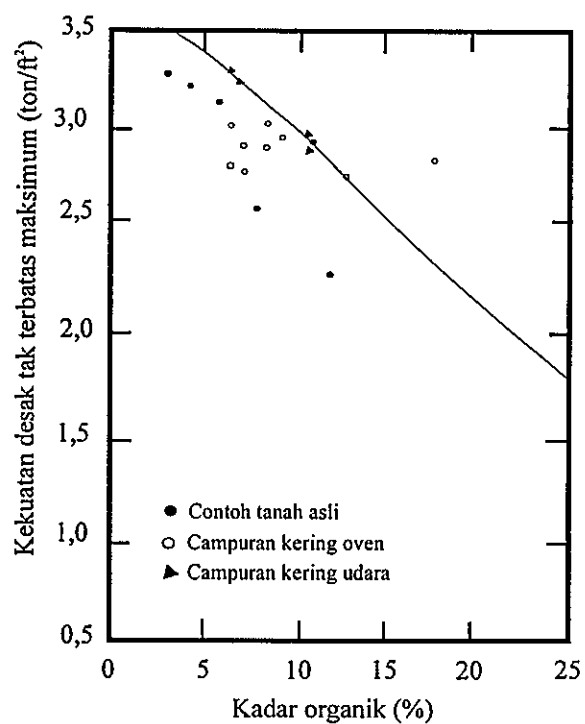
Franklin, Orozco dan Semrau melakukan beberapa penelitian di laboratorium untuk menyelidiki pengaruh kadar organik terhadap sifat komposisi tanah. Dari hasil penelitian diketahui, apabila kadar organik melebihi 8 – 10% maka berat volume kering maksimum pada pemadatan akan menurun tajam. Kecenderungan ini dapat dilihat dari Gambar 2.9. Kadar air optimum untuk usaha pemadatan tertentu sebaliknya akan meningkat dengan bertambahnya kadar organik dalam tanah. Kecenderungan ini ditunjukkan pada Gambar 2.10. Besarnya kekuatan desak tak terbatas maksimum (*maximum unconfined compression strength*) yang justru berkurang dengan bertambahnya kadar organik dalam tanah (Gambar 2.11). Dari faktor-faktor ini dapat disimpulkan bahwa tanah dengan kadar organik lebih besar dari 10% adalah tidak baik untuk pekerjaan pemadatan.



Gambar 2.9. Variasi harga berat volume kering maksimum terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).



Gambar 2.10. Variasi kadar air optimum terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).



Gambar 2.11. Variasi kekuatan desak tak terbatas (*unconfined compression strength*) maksimum (dari contoh tanah yang dipadatkan) terhadap kadar organik (menurut Franklin, Orozco dan Semrau, 1973).

2.7. California Bearing Ratio (CBR)

Nilai CBR merupakan nilai banding antara gaya yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berukuran standar (1935 mm^2) dengan kecepatan standar (1,27 mm per. menit) terhadap gaya yang diperlukan untuk menembus bahan standar tertentu. Besarnya nilai CBR tanah akan menentukan ketebalan lapis keras yang akan dibuat di atasnya.

Terdapat dua macam pengukuran nilai CBR yaitu :

- 1) Nilai CBR pada penetrasi 0,1" terhadap tekanan penetrasi standar yang besarnya 3000 lb.

$$CBR_{0,1} = \frac{P_1}{3000} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

- 2) Nilai CBR pada penetrasi 0,2" terhadap tekanan penetrasi standar yang besarnya 4500 lb.

$$CBR_{0,2} = \frac{P_2}{4500} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

keterangan :

P_1 = gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,1" (dalam lb).

P_2 = gaya yang diperlukan untuk penetrasi 0,2" (dalam lb).

Nilai CBR terbesar dari kedua nilai CBR diatas diterima sebagai nilai CBR terpilih.

Sebelum diadakan pengujian CBR benda uji dirawat yaitu dengan memberi kesempatan terjadinya proses pengikatan bahan campuran dengan tanah gambut. Selama masa perawatan ini diusahakan agar kadar air sampel tidak berubah, apabila terjadi perubahan tidak terlalu besar. Untuk meminimalkan perubahan kadar air, sampel ditutup dengan lilin pada bagian atas dan bawah *mould*. Setelah masa perawatan selesai, sampel direndam dalam air selama 4 x 24 jam dengan maksud, untuk mengantisipasi bertambahnya kadar air tanah karena banjir ataupun naiknya muka air tanah. Pengaruh perendaman ini dapat

dilihat dengan pengujian *swelling* (pengembangan) dari sampel tanah. Pengembangan (*swelling*) adalah bertambahnya ukuran sampel tanah akibat penambahan air pada sampel tanah karena proses perendaman.

Nilai *swelling* (pengembangan) juga mempunyai peranan penting dalam proses stabilisasi tanah. Proses kembang susut tanah dasar yang terlalu besar akan membawa dampak yang kurang baik bagi lapisan perkerasan di atasnya.

Nilai *swelling* dihitung berdasarkan prosentase tinggi benda uji sesudah proses perendaman terhadap tinggi benda uji sebelum proses perendaman.

$$Swelling = \frac{(h_2 - h_1)}{h_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2-22)$$

keterangan :

h_1 = tinggi benda uji semula.

h_2 = tinggi benda uji setelah perendaman.

2.8. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Hermin Tjahyati (1997) melakukan penelitian Stabilisasi Tanah Gambut dengan Kapur dan Semen. Proses stabilisasi tanah gambut dilakukan dengan memodifikasi tanah gambut dicampur tanah non organik dengan perbandingan minimum antara tanah gambut dan tanah non organik sebesar 7 : 3. Kemudian modifikasi tanah tersebut dicampur dengan kapur CaO (kapur kembang) dan semen, dengan variasi kapur sebanyak 3% dan 5% dan variasi semen sebanyak 3%, 5% dan 8%. Ternyata dari hasil penelitian merekomendasikan penambahan kapur yang tepat adalah 5% dan penambahan semen sebanyak 8% untuk modifikasi tanah gambut + non organik (tanah merah) dengan kapur dan semen. Hal ini diperlihatkan dari hasil CBR = 6.45% pada umur 7 hari dan CBR = 9% pada umur 28 hari. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa tanah gambut hanya dapat ditingkatkan kemampuannya menjadi tanah dasar jalan

dengan nilai CBR 6,50% pada umur 7 hari. Oleh karena itu pada stabilisasi tanah gambut masih diperlukan lapisan pondasi atas untuk mendukung lapisan perkerasan lain di atasnya. Sampel yang digunakan adalah tanah gambut yang berasal dari daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah, sedangkan pengambilan contoh tanah laterit di daerah Batang (Semarang) dan Sukabumi.

Bagus Priyatno (1997) mengadakan penelitian mengenai stabilisasi tanah gambut dengan bahan campuran *gypsum* dan *portland cement*. Penelitian tersebut menggunakan komposisi campuran kadar *gypsum* sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebesar 10% dan kadar PC bervariasi 0%, 5%, 10% dan 15%, dihitung terhadap berat kering tanah gambut. Pada penelitian tersebut dilakukan proses perawatan (*curing*) selama 0, 14 hari dan 28 hari. Sampel tanah gambut yang digunakan pada penelitian berasal dari daerah Kotabaru Kodya Pontianak Kalimantan Barat. Dari hasil penelitian stabilisasi tanah gambut dengan *gypsum* dan semen menunjukkan bahwa pengembangan (*swelling*) yang terjadi semakin kecil dengan bertambahnya kadar semen dan masa perawatan yang diberikan. Pengembangan (*swelling*) yang terjadi pada tanah gambut murni sebesar 3,7% dan pada campuran 10% *gypsum* + 15% semen untuk masa perawatan 28 hari, sebesar 0%. Selain itu nilai CBR yang dihasilkan mengalami kenaikan 5 kali lipat pada campuran 10% *gypsum* + 15% semen pada masa perawatan 28 hari. Hal ini ditunjukkan dari hasil percobaan dimana pada tanah gambut murni nilai CBR, sebesar 4,1% sedangkan nilai CBR pada campuran tanah gambut dengan *gypsum* dan semen, sebesar 20%.

Penelitian pada tesis ini mengambil ide dari penelitian yang telah dilakukan Bagus Priyatno (1997). Dimana pada sub bab Saran, menyebutkan perlunya penelitian lanjutan dengan menggunakan kadar PC tetap dan kadar *gypsum* yang bervariasi serta perlu dilakukan penelitian pada jenis tanah gambut lain. Pada penelitian ini bahan yang digunakan sebagai *stabilizing agents* adalah semen (PC) dan bahan *retarder*-nya

sintesis. Sampel tanah gambut yang akan distabilisasi adalah tanah gambut yang berasal dari daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Penelitian ini menitikberatkan pengaruh campuran kadar PC dengan ukuran tetap 5% dan kadar *gypsum* yang bervariasi 0% (tanpa *gypsum*), 5%, 10% dan 15%. Masing-masing prosentase bahan tambah (PC dan *gypsum*) dihitung terhadap berat kering tanah gambut. Masa perawatan yang dilakukan pada sampel adalah 0 hari, 14 hari dan 28 hari.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

3.1.1. Tanah

Tanah yang digunakan adalah tanah gambut yang berasal dari daerah Rawa Pening. Pengambilan contoh tanah terganggu (*disturb sample*). Tanah gambut dikeringkan/dijemur terik matahari sampai mencapai kering udara, sesudah itu disaring dan diambil tanah yang lolos saringan no. 4.

3.1.2. *Portland Cement* (PC)

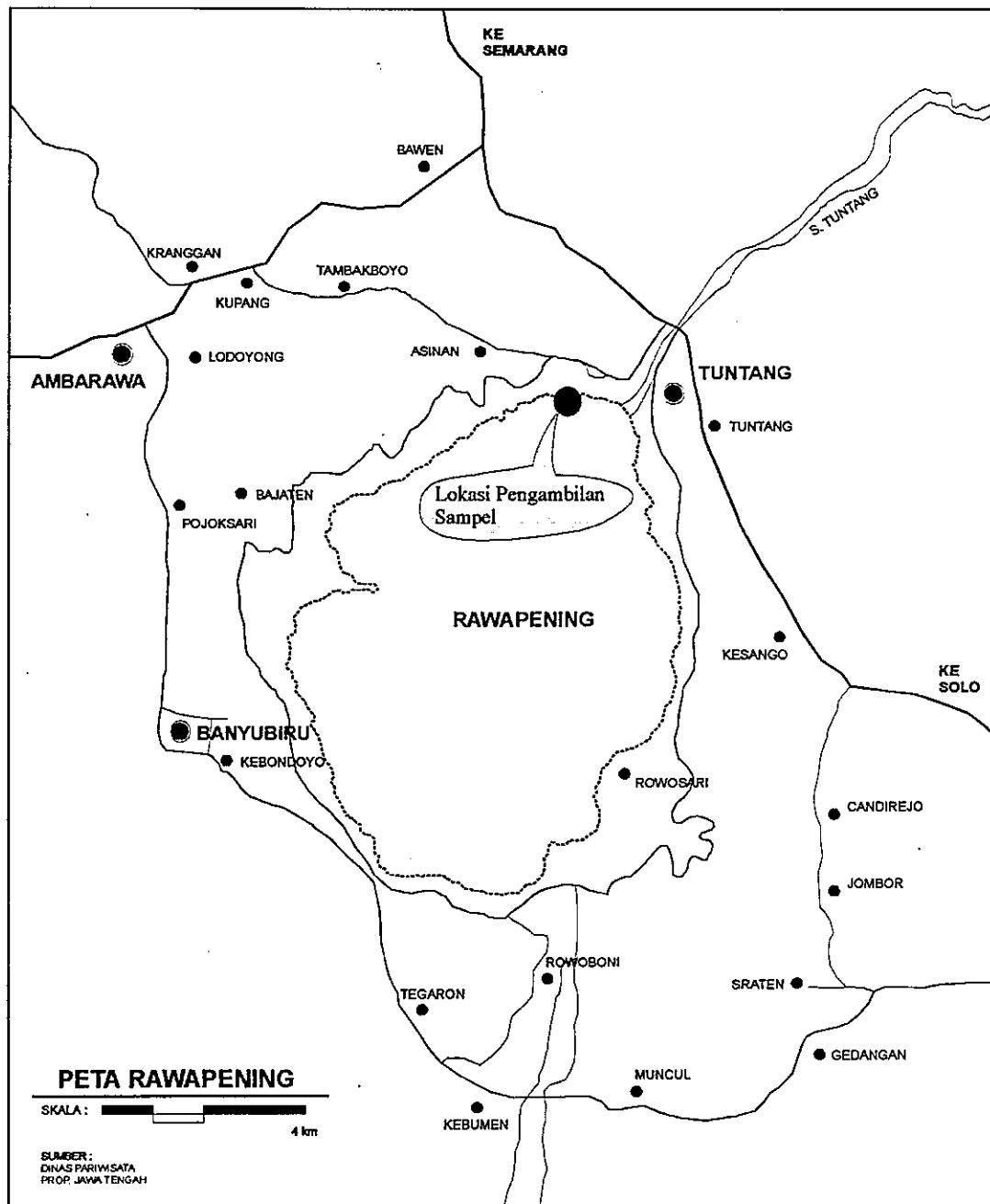
Portland cement yang digunakan adalah Tipe I merk Nusantara. Hal ini dengan pertimbangan *portland cement* tipe I ini mudah didapatkan di pasaran bebas.

3.1.3. *Gypsum*

Gypsum yang digunakan adalah *gypsum* sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). *Gypsum* sintesis di produksi Bagus Prayitno dkk di Akademi Teknik Sipil Semarang Jawa Tengah. Dengan bahan dasar dari kapur tohor dengan air accu (H_2SO_4).

3.2. Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sample di daerah Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan dari peta Rawa Pening pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah gambut

3.3. Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.3.1. Cawan

Cawan yaitu wadah yang digunakan untuk menempatkan sampel tanah kira-kira 10 gram sampai 30 gram yang biasanya dipergunakan untuk pengukuran kadar air. Biasanya terbuat dari aluminium dan dilengkapi dengan tutup.

3.3.2. Timbangan

Timbangan yang dipergunakan ialah timbangan dengan merk *Ohaus*. Jenis timbangan yang digunakan ada dua buah yaitu timbangan dengan ketelitian 0,005 gram dan timbangan dengan ketelitian 1,0 gram.

3.3.3. Oven

Oven adalah tempat untuk mengeringkan sampel dengan suhu 105°C sampai dengan 110°C yang digunakan untuk pengukuran kadar air.

3.3.4. Gelas Ukur

Gelas ukur dipergunakan untuk menakar jumlah air yang dibutuhkan dalam percobaan misalnya untuk penambahan air dalam pembuatan benda uji. Jenis gelas ukur yang digunakan adalah gelas ukur dengan kapasitas 100 ml dan 1000 ml.

3.3.5. Piknometer

Piknometer adalah alat yang digunakan untuk pengukuran berat jenis (*specific gravity*) bahan penelitian. Piknometer ini berbentuk seperti botol namun mempunyai leher sempit dan sebagai penutupnya dilengkapi pipa kapiler.

3.3.6. Mould

Cetakan logam berbentuk tabung/silinder dengan ukuran tertentu yang berfungsi untuk membuat benda uji maupun untuk percobaan pemadatan. *Mould* yang digunakan dalam penelitian ini ada dua ukuran yaitu berdiameter 102 mm yang dipakai untuk percobaan pemadatan dan *mould* yang bergaris tengah 152 mm yang dipergunakan untuk pembuatan benda uji tes CBR. Satu set *mould* ini terdiri dari alas *mould*, *mould* (cetakan) dan leher *mould*.

3.3.7. Saringan

Saringan adalah alat yang digunakan untuk mengetahui ukuran partikel tanah ataupun agregat sehingga diperoleh data ukuran partikel tanah. Untuk mengetahui ukuran partikel tanah gambut saringan yang dipakai adalah saringan No. 8 dan No. 20.

3.3.8. California Bearing Ratio (CBR)

CBR adalah salah satu alat untuk mengetahui daya dukung tanah. Satu set alat ini terdiri dari :

- a). Mesin penetrasi (*Loading Machine*) berkapasitas 4,45 ton dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit.
- b). Torak penetrasi dari logam dengan luas 19,35 cm² dan panjangnya minimal 101,6 mm.
- c). Kepiting beban dengan berat 5 pound.
- d). Arloji pengukuran penetrasi dan arloji penunjuk beban.

3.3.9. Alat Pemeriksaan Konsistensi *Atterberg*

a) Batas cair

- 1). Mangkuk *Casagrande* terbuat dari kuningan dan duduknya yang dilengkapi dengan handel pemutar mangkuk. Tinggi jatuh mangkuk $\pm 1,0$ cm.
- 2). *Grooving tool* yaitu alat pembuat alur benda uji yang telah disiapkan di dalam mangkuk *Casagrande*.

b) Batas plastis.

Plat kaca yang dipakai untuk menggiling sampel hingga mencapai ϕ 3 mm.

3.4. Proses Penelitian

Penelitian yang dilakukan yang dilakukan ada 2 tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian pokok.

1. Penelitian Pendahuluan

Yaitu penelitian terhadap sifat-sifat dasar tanah gambut atau *index properties* maupun sifat teknis (*engineering properties*) tanah gambut yang berfungsi untuk mengidentifikasi keadaan tanah. Adapun yang termasuk penelitian pendahuluan adalah : kadar air, berat jenis (*specific gravity*), batas cair, batas plastis, gradasi, kadar bahan organik dan pepadatan.

1). Pemeriksaan Kadar Air (*water content*).

Tujuan pemeriksaan : Untuk mengetahui kadar air tanah gambut.

Peralatan : ASTM D 2216 – 92. (1997)

- a. Cawan aluminium
- b. Timbangan (ketelitian 0,01 gram)
- c. Oven.

Pengujian :

- 1) Benda uji lolos saringan no. 40 (0,425 mm) dengan jumlah minimum tiap benda uji yang akan diperiksa adalah 10 gram.
- 2) Benda uji ditempatkan dalam cawan bersih, kering dan telah diketahui beratnya.
- 3) Tanah dan cawan ditimbang dan beratnya dicatat.
- 4) Masukkan dalam oven dan dikeringkan selama 24 jam.
- 5) Kemudian setelah 24 jam cawan dikeluarkan dan didinginkan.
- 6) Timbang dan dicatat.

Jika diketahui berat cawan W_1 , berat cawan dan tanah sebelum dikeringkan W_2 dan berat cawan dan tanah kering W_3 maka :

$$Kadarair(\omega) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

Catatan : Kadar air dilaporkan dalam persen dengan ketelitian dua angka dibelakang koma .

2). Pemeriksaan Berat Jenis (*Specific Gravity*).

Tujuan pemeriksaan : Untuk mengetahui *specific gravity* tanah gambut.

Berat Jenis Tanah : Perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air pada volume sama serta pada temperatur tertentu.

Peralatan : ASTM D 854 (1997)

- a. Piknometer.
- b. Air suling
- c. Pemanas
- d. Termometer
- e. Tempat perendaman.
- f. Neraca (ketelitian 0,01 gram)

g. Kawat pengaduk.

Pengujian :

- 1) Piknometer yang bersih dan kering bersama tutupnya ditimbang (W_1).
- 2) Benda uji dimasukkan dalam piknometer + tutup ditimbang (W_2)
- 3) Ditambah air suling hingga dua pertiga piknometer.
- 4) Didihkan selama minimal 10 menit.
- 5) Setelah 10 menit diangkat dan didiamkan hingga suhu konstan.
- 6) Tambah air suling hingga penuh kemudian ditutup dan dikeringkan bagian luar dengan kain lalu ditimbang (W_3), diukur suhunya.
- 7) Untuk mengetahui isi piknometer maka piknometer yang bersih diisi air suling (W_4).

Adapun rumus *Spesific Gravity* (G_s) adalah :

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

dengan :

W_1 = berat piknometer (gram).

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram).

W_3 = berat piknometer + tanah + air (gram).

W_4 = berat piknometer + air (gram).

3). Pemeriksaan Batas Cair (*Liquid Limit*).

Tujuan pemeriksaan : Untuk menentukan batas cair tanah.

Batas cair suatu tanah adalah kadar air tanah tersebut pada keadaan batas peralihan antara cair dan keadaan plastis.

Peralatan : ASTM D 4318 – 95a (1997)

- a. Alat batas cair *casagrande*.
- b. Alat pembarut (*grooving tools*).
- c. Cawan Porselen (*mortar*).
- d. Spatula
- e. Saringan no. 40.
- f. Neraca (ketelitian 0,01 gram).
- g. Air suling
- h. Cawan aluminium
- i. Oven

Pengujian :

- 1) Benda uji lolos saringan no. 40 dengan berat minimal 100 gram dalam keadaan kering udara.
- 2) 100 gram tanah diletakkan ke dalam cawan porselen kemudian ditambah sedikit demi sedikit air suling sambil diaduk sampai homogen.
- 3) Letakkan dalam mangkuk *Casagrande* dan ratakan sampai sejajar dengan dasar alat dan bagian yang paling tebal harus kira-kira setebal 1 cm.
- 4) Kemudian dibarut tanah dalam mangkuk dengan *grooving tools* menjadi dua bagian.
- 5) Putar *handel* alat sehingga mangkuk jatuh dengan kecepatan 2 putaran per detik. Pemutaran dilakukan terus menerus sampai dasar alur benda uji bersinggungan sepanjang kira-kira 12,7 mm (1/2").
- 6) Periksa kadar air benda uji tersebut.
- 7) Percobaan ini dilakukan terus menerus dengan cara menambahkan air suling sehingga diperoleh minimal 3 data dengan kadar air yang berbeda.

Adapun yang disebut batas cair adalah kadar air pada saat jumlah pukulan mencapai 25 kali.

4). Pemeriksaan Batas Plastis (*Plastic Limit*).

Tujuan pemeriksaan : Untuk mengetahui kadar air minimum suatu tanah dalam keadaan plastis.

Peralatan : ASTM D 4318 – 95a (1997)

- a) Cawan Porselen.
- b) Cawan aluminium
- c) Spatula
- d) Plat Kaca.
- e) Saringan no. 40.
- f) Neraca (ketelitian 0,01 gram).
- g) Air suling
- h) Oven.

Pengujian :

- 1) Benda uji lolos saringan no. 40 sebanyak 20 gram.
- 2) Benda uji disiapkan didalam cawan porselen dan ditambah air suling hingga *homogen*.
- 3) Buat bola-bola lalu digiling diatas plat kaca dengan tangan sampai membentuk batang dengan \varnothing 3 mm. Jika belum sampai \varnothing 3 mm benda uji telah retak-retak maka benda uji ditambah air suling lagi sampai apabila digiling batang \varnothing 3 mm baru terjadi retak-retak.
- 4) Pada kondisi demikian lalu diperiksa kadar air. Kadar air benda uji pada saat digiling sampai mencapai \varnothing 3 mm dan terjadi retak-retak merupakan batas plastis.

5). Pengujian Sifat Fisik Tanah Gambut

Metode yang digunakan untuk pengujian kadar abu, kadar organik dan kadar serat adalah ASTM (*The American Society for Test and Material*), yaitu : ASTM D.2974-87 "*Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soil*", ASTM D 1997 – 91 "*Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat Samples by Dry Mass*" dan ASTM D 2977 "*Particle Size Range of Peat Materials for Horticultural Purposes*".

6). Percobaan Pemasakan

Tujuan percobaan : Untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan sampel dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm.

Peralatan : ASTM D 698 – 91 (1997)

- a. Cetakan Silinder (diameter 102 mm) beserta leher dan alasnya.
- b. Alat penumbuk 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm.
- c. Alat pengeluar contoh dengan merk Maruto.
- d. Timbangan (ketelitian 1 gram).
- e. Cawan.
- f. Oven.
- g. Talam.
- h. Pisau Perata
- i. Saringan no. 4.

Pengujian :

Benda uji lolos saringan no. 4.

Cara A :

- 1) Cetakan ditimbang lalu cetakan dipasang pada tempatnya dan leher cetakan dipasang.
- 2) Benda uji dimasukkan dalam cetakan kemudian dipadatkan dalam tiga lapis masing-masing lapis dipadatkan 25 tumbukan.
- 3) Kemudian leher dibuka dan sampel diratakan hingga bagian atas benda uji sejajar dengan permukaan cetakan, lalu cetakan diepas dari alasnya kemudian ditimbang.
- 4) Pemeriksaan ini diulang dengan kadar air yang bervariasi. Data yang diperoleh adalah berat basah, kadar air dan berat kering. Dari data tersebut kemudian dicari kadar air optimum dan berat kering maksimum.

Jumlah sampel tanah untuk pemadatan sebagai berikut :

- a. Tanah gambut murni : 5 buah.
- b. Tanah gambut + 5% semen + 0% *gypsum* : 5 buah.
- c. Tanah gambut + 5% semen + 5% *gypsum* : 5 buah.
- d. Tanah gambut + 5% semen + 10% *gypsum* : 5 buah.
- e. Tanah gambut + 5% semen + 15% *gypsum* : 5 buah.

2. Penelitian pokok

Penelitian yang dilakukan adalah pemeriksaan CBR tanah gambut itu sendiri dan CBR campuran. Selain itu pemeriksaan CBR juga dilengkapi dengan pemeriksaan *swelling* setelah rendaman 4 x 24 jam yaitu keadaan benda uji sebelum dilakukan pengujian CBR.

Pemeriksaan pelengkap lainnya adalah pemeriksaan batas-batas Atterberg campuran meliputi batas cair dan batas plastis campuran.

Adapun tata cara pengujian CBR adalah sebagai berikut :

a. Pemeriksaan CBR Rendaman

Tujuan pemeriksaan : Untuk mengetahui nilai CBR tanah gambut murni, tanah gambut yang dicampur dengan semen dan campuran tanah gambut semen dan *gypsum*.

Peralatan : ASTM D 1883 – 94 (1997)

- a. Satu set alat pemeriksaan CBR.
- b. Mould (diameter 152 mm)
- c. Jarum penunjuk *swelling*.
- d. Neraca (ketelitian 1 gram dan 0,01 gram).
- e. Cawan.
- f. Bak perendaman.
- g. Dongkrak.

Pengujian :

Cara B

Benda uji lolos saringan no. 4

- 1) Benda uji dipadatkan dalam 5 lapis dalam *mould* diameter 152 mm dimana tiap lapis dilakukan pemadatan dengan penumbuk *modified* sebanyak 56 tumbukan.
- 2) Untuk benda uji yang berupa campuran dilakukan pencampuran pada saat semua benda dalam keadaan kering.
- 3) Kemudian ditambah air sehingga mencapai kadar air optimum.
- 4) Setelah dilakukan pemadatan benda uji dibedakan dalam dua macam yaitu benda uji tanpa perawatan (*curing*) dan benda uji dengan perawatan.
 - a. Untuk benda uji tanpa perawatan maka benda uji langsung direndam dalam bak perendaman selama 4 x 24 jam sambil dilakukan pemeriksaan *swelling*.

- b. Untuk benda uji yang memerlukan perawatan maka dilakukan perawatan dengan jalan dilapisi dengan lilin baik bagian atas maupun bawah benda uji kemudian dibungkus dengan plastik.
- c. Setelah selesai masa perawatan maka benda uji dibuka pelapis lilinnya dan dilakukan perendaman selama 4 x 24 jam dan dilakukan pula pemeriksaan *swelling*.
- d. Setelah perendaman baru dilakukan pemeriksaan CBR.

Langkah-langkah pemeriksaan CBR sesuai dengan

- 1) Benda uji setelah direndam diangkat, dilepas bebannya dan kemudian dikeringkan selama kurang lebih 15 menit kemudian ditimbang.
- 2) Selanjutnya benda uji diletakkan pada penampang mesin CBR kemudian diberi beban 10 pound.
- 3) Arloji penetrasi dan arloji penunjuk beban diatur sehingga menunjukkan angka nol.
- 4) Pembebanan dilakukan dengan teratur hingga kecepatan 1,27 mm/menit. Kemudian pembacaan pembebanan pada penetrasi 0,0125"; 0,025"; 0,050"; 0,075"; 0,100"; 0,150"; 0,200"; 0,300"; 0,400" dan 0,500".
- 5) Kemudian setelah pengujian, kadar air benda uji diambil pada lapisan bagian bawah benda uji.
- 6) Pemeriksaan nilai CBR ini dilakukan pada bagian bawah benda uji.

Nilai CBR adalah beban yang terbaca pada grafik hubungan antara nilai penetrasi dan beban yang telah terkoreksi pada penetrasi 0,1" yang dibagi dengan luas penampang $19,35 \text{ cm}^2$ (3 inchi²) dan kemudian dibagi dengan beban standar $70,37 \text{ kg/cm}^2$ (1000 psi) lalu dikalikan 100% atau beban pada penetrasi 0,2" yang dibagi $19,35 \text{ cm}^2$ kemudian dibagi lagi dengan beban standar $105,56 \text{ kg/cm}^2$ (1500 psi) dikalikan 100%.

Dari kedua nilai CBR tersebut dipilih yang paling besar yang nantinya digunakan sebagai nilai CBR.

Jumlah sampel yang diuji CBR untuk masa perawatan 0 hari, 14 hari, 28 hari :

- a. Tanah gambut + 5% semen + 0% *gypsum* : 2 buah/masa perawatan.
- b. Tanah gambut + 5% semen + 5% *gypsum* : 2 buah/masa perawatan.
- c. Tanah gambut + 5% semen + 10% *gypsum* : 2 buah/masa perawatan.
- d. Tanah gambut + 5% semen + 15% *gypsum* : 2 buah/masa perawatan.

3.5. Anggapan Dasar

3.5.1. Kadar *portland cement*

Kadar PC ditetapkan sebesar 5% dari berat kering tanah gambut. Mengenai campuran untuk PC, Bowles (1993) yang menyarankan penggunaan semen sebesar 3% hingga 16 % dari berat kering tanah.

Adapun cara perhitungan berat *portland cement* yang harus ditambahkan adalah :

$$\text{Berat tanah gambut} = 2687 \text{ gram.}$$

$$\text{Kadar air kering udara} = 21.83\%.$$

$$\text{Berat kering tanah gambut} = 2687 - \left(\frac{21.83}{100} \times 2687 \right)$$

$$= 2100 \text{ gram.}$$

$$\text{Berat } \textit{portland cement} \text{ yang ditambahkan} = 5\% \times 2100$$

$$= 105 \text{ gram.}$$

3.5.2. Variasi kadar *gypsum*

Pada penelitian ini yang divariasikan adalah kadar *gypsum* yang akan ditambahkan dalam campuran tanah gambut dan semen. Kadar *gypsum* yang ditambahkan dalam

campuran dihitung terhadap berat kering tanah gambut dengan variasi 5%, 10% dan 15%.

3.5.3. Metode Pencampuran

Dalam mencampurkan bahan-bahan, dilakukan pada waktu bahan dalam keadaan kering, kemudian dicampur hingga merata. Campuran yang sudah rata ditambah air sesuai dengan kadar optimum pada masing-masing campuran yang diperoleh dari percobaan pemadatan kemudian didiamkan selama 24 jam .

Adapun cara mendapatkan jumlah air yang harus ditambahkan dalam pencampuran sample CBR sebagai berikut :

Berat tanah gambut	= 2687 gram.
Berat tanah gambut kering	= 2100 gram.
Kadar air kering udara	= 21.83%.
Kadar air optimum	= 106.25%
Berat air yang ditambahkan	$= \frac{106.25 - 21.83}{100} \times \frac{2100}{1}$
	= 1773 cc

3.5.4. Rawatan (*curing*)

Benda uji yang telah dipadatkan di dalam cetakan sesuai standar pengujian pemadatan, permukaan bagian atas dan bagian bawahnya ditutup lilin kemudian dimasukkan ke dalam plastik. Masa perawatan 14 hari dan 28 hari.

3.5.5. Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

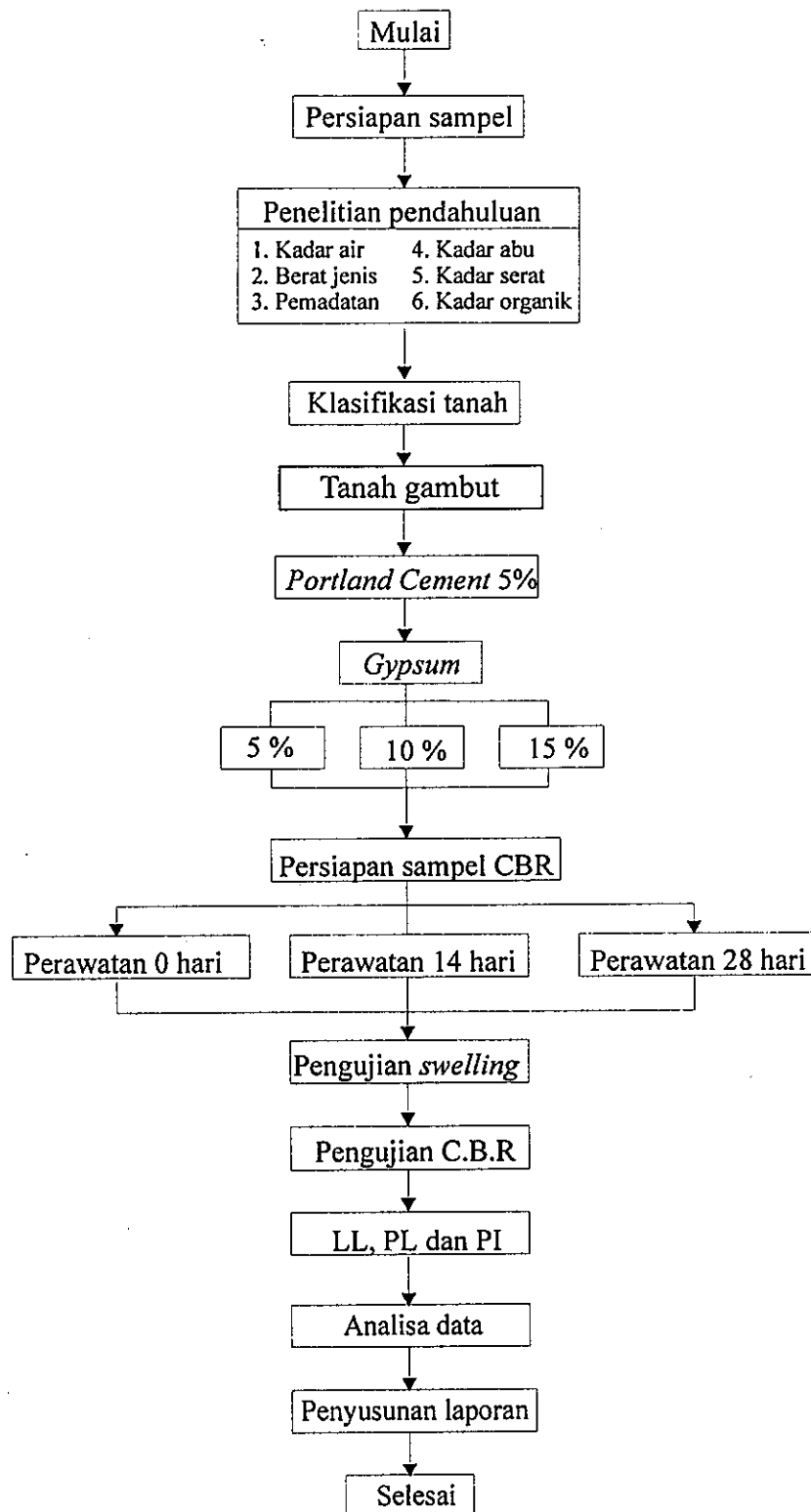
Setelah masa perawatan selesai, benda uji dibuka pelapis lilinnya. Selanjutnya dilakukan perendaman selama 4 x 24 jam, cetakan harus terendam seluruhnya. Pada waktu proses perendaman ini dilakukan pengamatan pengembangan tanah (*swelling*).

Nilai *swelling* yaitu prosentase pengembangan benda uji karena bertambahnya kadar air akibat perendaman. Pengamatan pengembangan dilakukan dalam waktu 1', 2', 5', 15', 30', 60', 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam.

3.5.6. Pengujian CBR

Untuk mengetahui kekuatan tanah dasar dalam penelitian yang dipakai adalah dengan pengujian CBR. Hal ini dilakukan mengingat bahwa penilaian kekuatan tanah adalah tanah dasar (*subgrade*) yang dipergunakan untuk kepentingan perencanaan perkerasan jalan dan merupakan cara empiris yang secara umum digunakan di Indonesia.

Untuk lebih jelasnya pelaksanaan penelitian maka dapat dilihat pada diagram alur Gambar 3.2. dibawah ini.



Gambar. 3.2. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1 Tanah Gambut

Hasil pemeriksaan karakteristik tanah gambut Rawa Pening ditunjukkan pada Tabel 4.1 dibawah ini, dan hasil selengkapnya bisa dilihat pada lampiran :

Tabel 4.1. Karakteristik tanah gambut Rawa Pening.

No.	Pemeriksaan	Rawa Pening
1	Kadar air tanah asli, %	561,67
2	Kadar air kering udara, %	21,83
3	Berat jenis (<i>Specific gravity</i>)	1,72
4	Batas cair (<i>Liquid Limit</i>), %	104,37
5	Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>), %	116,78
6	Indeks plastisitas, %	0,00
7	Kadar air optimum (w_{opt}), %	106,25
8	Berat kering maksimum (γ_k maks), gr/cm^3	0,475
9	Nilai <i>Swelling</i>	2,049
10	Nilai CBR	2,78
11	Kadar bahan organik, (<i>Organic matter</i>), %	62,27
12	Kadar abu (<i>Ash content</i>), %	37,73
13	Kadar serat (<i>Fiber content</i>), %	62,12
14	<i>Particle Size</i>	
	- Serat kasar, %	70,5
	- Serat sedang, %	16
	- Serat halus, %	13,5

4.1.2. Portland Cement

Dari pengujian yang dilakukan pada *portland cement*, diperoleh data seperti pada Tabel 4.2 di bawah ini, dan hasil selengkapnya bias dilihat pada lampiran :

Tabel 4.2. Karakteristik *portland cement* tipe I merk Nusantara.

No	Pengujian	Nilai
1	Kadar air, %	3.87
2	Berat jenis (<i>specific gravity</i>)	3.15

4.1.3. Gypsum

Karakteristik pemeriksaan *gypsum* sintesis produksi Bagus Prayitno dkk dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini, dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran :

Tabel 4.3. Karakteristik *gypsum* sintesis produksi Bagus Prayitno dkk.

No	Pengujian	Nilai
1	Kadar air, %	5.24
2	Berat jenis (<i>specific gravity</i>)	2.67

4.1.4. Pengujian Campuran Tanah Gambut, *Portland Cement* Dan *Gypsum*

Pada campuran tanah gambut dengan *portland cement* dan *gypsum* dilakukan pengujian seperti batas-batas Atterberg, pemadatan dan CBR rendaman.

1. Batas-batas Atterberg

Pengujian batas-batas Atterberg adalah untuk memeriksa batas cair dan batas plastis dari campuran dan tanah gambut murni terhadap masa perawatan yang diberikan. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4. Nilai batas-batas Atterberg terhadap masa perawatan.

A	Tanpa masa Perawatan	Gambut Murni	% <i>Gypsum</i> dengan 5% PC			
			0	5	10	15
1	Batas Cair (LL)	104.37	98,90	96,00	94,25	93,85
2	Batas Plastis (PL)	116.78	88,21	89,47	89,66	90,21
3	Indeks Plastisitas (PI)	0.00	10,69	6,53	4,59	3,64
B	Masa Perawatan 14 Hari					
1	Batas Cair (LL)	-	98,00	95,6	94,20	93,7
2	Batas Plastis (PL)	-	89,47	91,29	91,43	91,88
3	Indeks Plastisitas (PI)	-	8,53	4,31	2,77	1,82
C	Masa Perawatan 28 Hari					
1	Batas Cair (LL)	-	97,60	95,50	94,10	92,9
2	Batas Plastis (PL)	-	91,95	92,26	92,34	92,64
3	Indeks Plastisitas (PI)	-	5,65	3,24	1,76	0,26

2. Berat Volume Kering Dan Kadar Air Optimum

Dari hasil pemeriksaan uji pemadatan diperoleh data seperti pada Tabel 4.5 dibawah ini, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran :

Tabel 4.5 Pengaruh PC - *gypsum* terhadap karakteristik pemadatan.

No	Karakteristik	Gambut Murni	% <i>Gypsum</i> dengan 5% PC			
			0	5	10	15
1	Berat kering maksimal (γ_k maks)	0,475	0,538	0,551	0,564	0,579
2	Kadar air optimum (w_{opt})	106,25	110	95	80	52.5

3. Swelling

Sebelum pemeriksaan CBR dilakukan perendaman selama 4 x 24 jam dan diperiksa nilai pengembangan (*swelling*) benda pada masa perawatan 0 hari, 14 hari dan 28 hari tersaji dalam Tabel 4.6 sebagai berikut, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran :

Tabel 4.6 Variasi pengembangan (%).

No	Perlakuan	Gambut Murni	% <i>Gypsum</i> dengan 5% PC			
			0	5	10	15
1	Tanpa perawatan	2,049	0,468	0,164	0,088	0,560
2	Masa perawatan 14 hari	-	0,144	0,111	0,081	0,357
3	Masa perawatan 28 hari	-	0,020	0,018	0,005	0,017

4. California Bearing Ratio (CBR)

Hasil pemeriksaan CBR dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran :

Tabel 4.7. Variasi nilai CBR terhadap masa perawatan.

No	Perlakuan	Gambut Murni	% <i>Gypsum</i> dengan 5% PC			
			0	5	10	15
1	Tanpa perawatan	2,78	3,95	5,18	6,25	4,00
2	Masa perawatan 14 hari	-	5,47	6,31	7,05	4,58
3	Masa perawatan 28 hari	-	6,94	7,46	8,17	5,80

4.2. Pembahasan

4.2.1. Klasifikasi Tanah

a. Klasifikasi Sistem ASTM

Tanah gambut menurut ASTM diklasifikasikan berdasarkan kadar serat, kadar abu dan kemampuan menyerap air (ASTM D 4427). Data dan hasil analisa selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.8. Klasifikasi gambut Rawa Pening menurut ASTM

		Batasan	Hasil Uji
A	Kadar Abu		
1	<i>Low Ash</i>	< 5%	-
2	<i>Medium Ash</i>	5% - 15%	-
3	<i>High Ash</i>	> 15%	37,73%
B	Kadar Serat		
1	<i>Fabric</i>	> 67%	-
2	<i>Hemic</i>	33% - 67%	62,27%
3	<i>Saptic</i>	< 33%	-
C	Kemampuan menyerap air (<i>Absorbency</i>)		
1	<i>Extremely Absorbent</i>	>1500%	-
2	<i>Highly Absorbent</i>	800% - 1500%	-
3	<i>Moderately Absorbent</i>	> 300% dan < 800%	561,67%
4	<i>Slightly Absorbent</i>	≤ 300%	-

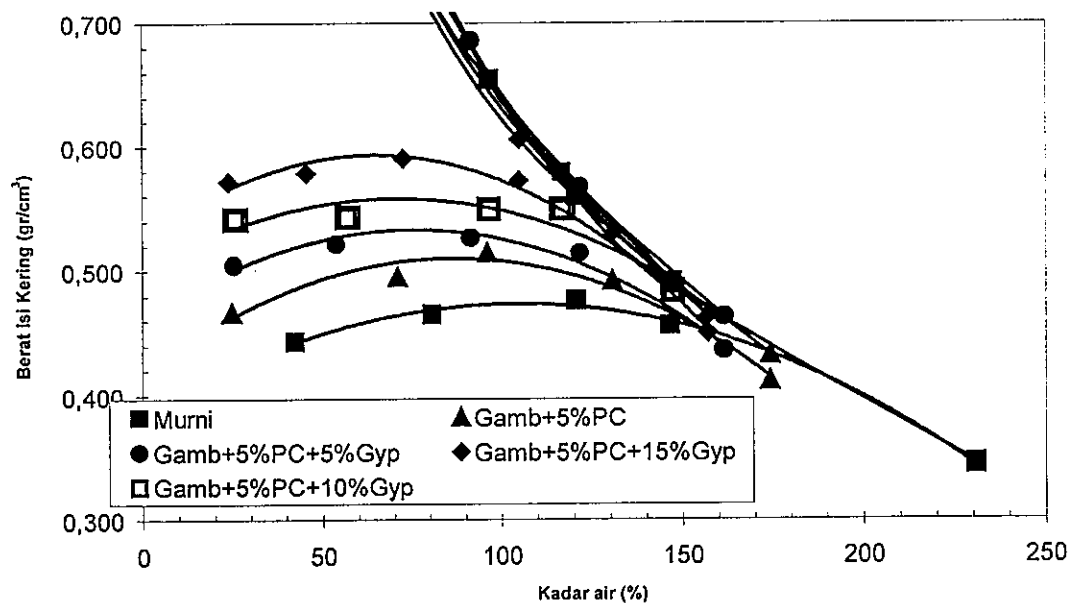
Jadi menurut ASTM D 4427 – 92 (1997) tanah gambut Rawa Pening, berdasarkan kadar abu termasuk jenis *High Ash* karena mempunyai kadar abu 37,73%. Berdasarkan kadar serat yang dimiliki tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Hemic* karena dari pengujian kadar seratnya sebesar 62,27%. Dalam kemampuan menyerap air (*Absorbency*) tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Moderately Absorbent*, hal ini dapat dilihat dari kadar air tanah aslinya sebesar 561,67%.

b. Klasifikasi Sistem Mac. Farlane (Mac Farlane, I.C., 1959)

Menurut klasifikasi sistem Mac Farlane tanah gambut Rawa Pening termasuk dalam *Fibrouse Peat* karena kandungan seratnya lebih besar dari 20% yaitu sebesar 62,27%.

Tanah gambut jenis *fibrouse peat* mempunyai dua jenis pori yaitu makropori dan mikropori.

4.2.2. Pengaruh *Portland Cement - Gypsum* Terhadap Karakteristik Pematatan



Gambar 4.1. Gabungan grafik pematatan standar campuran gambut dengan *Portland cement* dan *gypsum*.

Dari Gambar 4.1 dapat kita lihat pengaruh campuran *Portland cement* dan *gypsum* terhadap berat kering maksimum dan kadar air optimum.

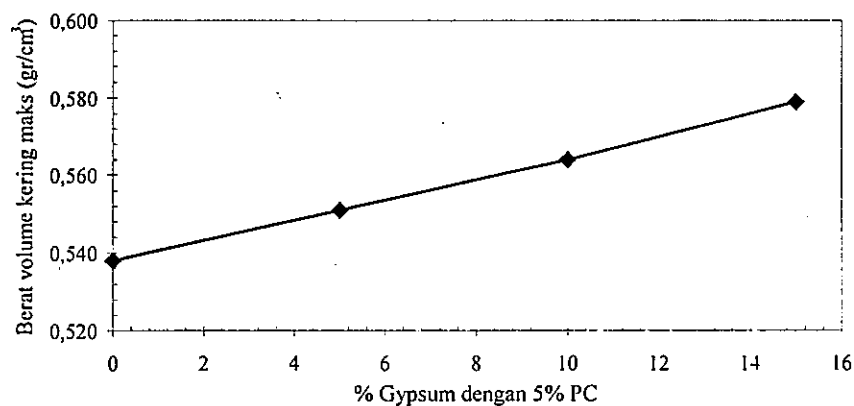
a. Pengaruh *Portland Cement - Gypsum* Terhadap Kepadatan Kering Maksimum.

Pematatan adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Tingkat kepadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan.

Penambahan air pada tanah saat pematatan adalah berfungsi sebagai pelumas bagi partikel tanah sehingga dapat bergerak leluasa untuk menempati ruang-ruang pori. Namun untuk tanah gambut, air yang ditambahkan diserap terlebih dahulu oleh tanah sehingga volume tanah menjadi lebih besar, kemudian setelah jenuh air berfungsi sebagai pelumas

bagi partikel tanah gambut. Akibatnya air yang dibutuhkan untuk membentuk proses pemadatan menjadi lebih besar. Disamping itu partikel tanah gambut juga bertambah besar (menggelembung) sehingga pada saat dilakukan usaha pemadatan banyak terdapat rongga antar butiran yang tidak terisi oleh tanah. Oleh karena itu berat volume kering tanah maksimum yang dicapai rendah. Penambahan air yang besar pada usaha pemadatan tanah gambut juga berakibat usaha pemadatan tidak akurat karena jumlah tumbukan tidak sesuai dengan aturan percobaan Proctor. Karena pada saat dilakukan usaha pemadatan alat penumbuk memantul akibat adanya air di dalam tubuh partikel gambut.

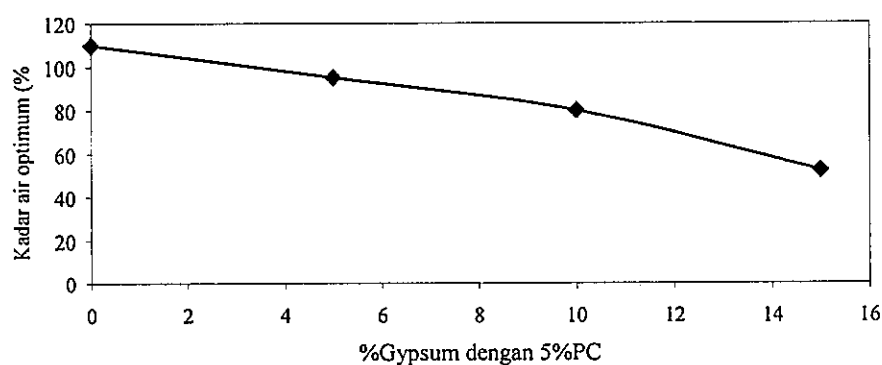
Dari hasil percobaan di laboratorium pencampuran tanah gambut dengan *portland cement* tanpa *gypsum* menghasilkan berat volume kering maksimum lebih besar dari pada gambut murni. Demikian pula setelah ditambah dengan *gypsum* berat volume kering maksimum mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar *gypsum* (Gambar 4.2). Hal ini disebabkan ikatan antara PC dan *gypsum* mampu mengisi ruang-ruang pori yang masih kosong yang tidak dapat terisi oleh partikel tanah. Dari pengukuran ukuran partikel tanah gambut dapat dilihat bahwa ukuran partikel gambut Rawa Pening mempunyai jumlah yang tidak seimbang dimana serat kasarnya lebih banyak dari pada ukuran serat sedang dan halus. Dengan meningkatnya berat volume kering maksimum, udara dalam tanah juga menjadi berkurang sehingga kerapatan tanah semakin baik dan tanah menjadi lebih padat.



Gambar 4.2. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap berat volume kering maksimum.

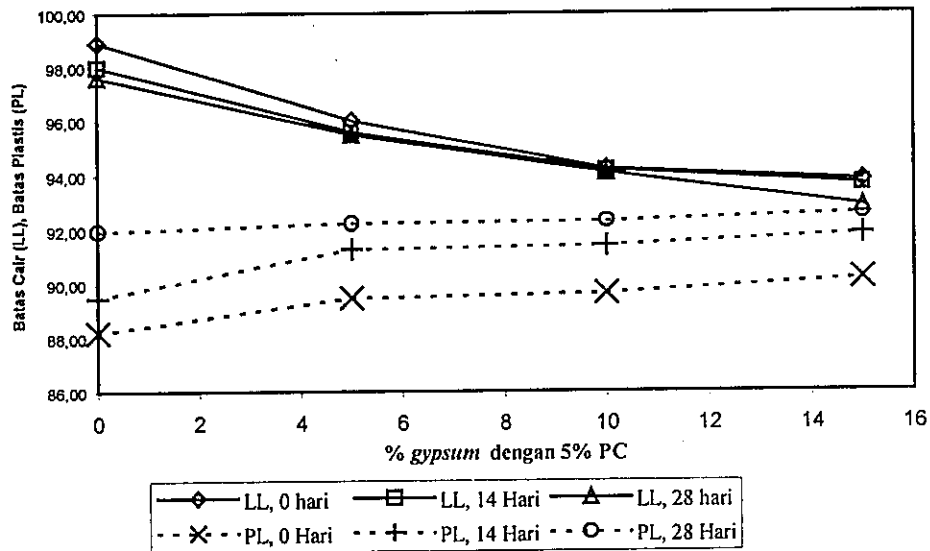
b. Pengaruh *Portland Cement - Gypsum* Terhadap Kadar Air Optimum

Pada Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa campuran 5% PC dengan berbagai prosentase *gypsum* menurunkan kadar air optimum campuran. Namun pada penambahan 5% PC + 0% *gypsum* terjadi kenaikan kadar air optimum dari 106,25% menjadi 110%. Hal ini menunjukkan penambahan 5% PC pada tanah gambut tanpa *gypsum* memerlukan penambahan air yang lebih banyak saat pencampuran dibanding dengan tanah gambut murni. Tetapi setelah dilakukan penambahan *gypsum* terjadi penurunan kadar air optimum. Fenomena ini terjadi karena pada penambahan PC memerlukan media air untuk melakukan proses pengerasan. Sedangkan pada penambahan 5% PC dan *gypsum* cenderung menurunkan kadar air optimum, karena sifat dari *gypsum* sendiri adalah menyerap air.



Gambar 4.3. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap kadar air optimum.

4.2.3. Pengaruh *Portland Cement - Gypsum* Dan Masa Perawatan Terhadap Batas-Batas Atterberg



Gambar 4.4. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap batas cair, batas plastis dan dengan masa perawatan

Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh campuran 5%PC dengan kadar *gypsum* bervariasi untuk tiap-tiap masa perawatan yang diberikan. Pembahasan mengenai pengaruh kadar PC dengan *gypsum* terhadap batas-batas atterberg pada halaman selanjutnya.

a. Pengaruh Kadar *Portland Cement - Gypsum* Terhadap Batas Cair

Dari hasil pemeriksaan batas cair di laboratorium, ternyata terjadi penurunan batas cair pada setiap penambahan kadar *gypsum* dan masa perawatan. Pada penambahan 5% PC pada masa perawatan 0 hari mempunyai perbedaan yang cukup berarti jika dibandingkan dengan masa perawatan 14 hari dan 28 hari. Sedangkan pada campuran 5% PC dengan 10% *gypsum* untuk ketiga masa perawatan yang diberikan mempunyai perbedaan batas cair yang kecil (Gambar 4.4). Jadi penambahan 5% PC dengan kadar *gypsum* mempunyai pengaruh yang kecil terhadap batas cair dengan masa perawatan bertambah. Dalam uji laboratorium sulit sekali dilakukan pengujian batas cair untuk tanah gambut, karena kadar organiknya tinggi.

Fenomena menurunnya batas cair dapat dijelaskan bahwa tanah gambut murni dengan penambahan air sedikit jika dibarut dengan pisau pembelah (*grooving tool*) selalu pecah. Hal ini menunjukkan bahwa partikel tanah gambut hanya mempunyai sifat lekatan antar partikel yang kecil sehingga untuk menaikkan sifat lekatnya perlu ditambah air lebih banyak. Selain itu banyaknya air yang perlu ditambahkan pada tanah gambut ini disebabkan oleh keadaan fisik partikel tanah gambut yang mempunyai makropori dan mikropori.. Air yang ditambahkan diserap terlebih dahulu oleh makropori dan mikropori untuk mengisi tubuh partikel. Setelah jenuh air dipergunakan untuk memperbaiki sifat lekatannya. Pada penambahan 5% PC dan *gypsum*, air yang dibutuhkan untuk menambah lekatan antar partikel berkurang, hal ini terjadi karena makropori dan mikropori partikel tanah gambut sebagian kecil telah terisi oleh partikel PC dan *gypsum*. Sehingga tidak dapat menyerap air untuk mengisi tubuh partikel gambut.

b. Pengaruh Kadar *Portland Cement* - *Gypsum* Terhadap Batas Plastis

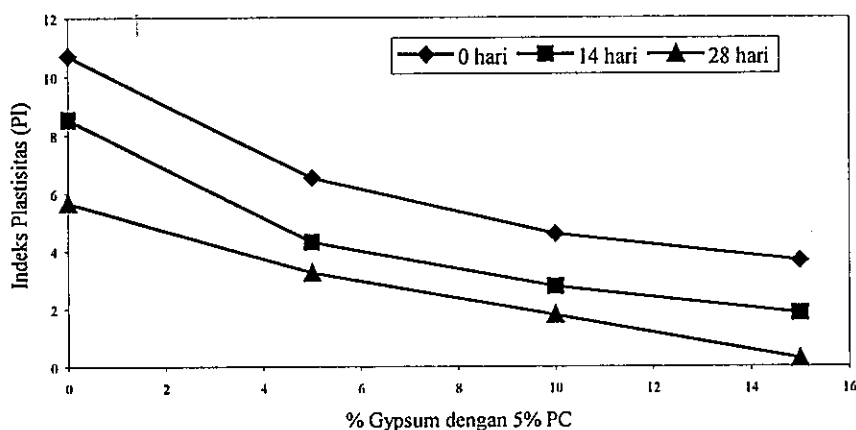
Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam prosen. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan tanah. Nilai batas plastis adalah sifat kohesif dari tanah yang bersangkutan.

Pada pengujian ini terjadi penurunan batas plastis apabila ditambah dengan 5% PC yaitu sebesar 88,21% dari batas plastis gambut murni sebesar 116,78%. Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan antara tanah gambut dengan PC yang memperbaiki daya lekat antar partikel tanah sehingga tanah mudah digiling dan tidak mudah retak meskipun air yang ditambahkan lebih sedikit. Namun bila ditambah dengan campuran PC dan *gypsum* batas plastis akan naik seiring dengan bertambahnya kadar *gypsum*. Pada masa perawatan 0 hari dan masa perawatan 14 hari terjadi perbedaan yang besar dari pada masa perawatan 14 hari dengan 28 hari untuk tiap penambahan kadar *gypsum*. Hal tersebut terjadi karena pada masa perawatan 0 hari dan 14 hari proses ikatan antara campuran gambut + PC + *gypsum*

belum mencapai ikatan yang baik. Semakin tinggi kadar *gypsum*, semakin banyak substitusi ion Ca^{2-} , maka penurunan kohesi tanah semakin besar. Pada kadar air yang sama campuran tanah gambut + 5% PC + 15% *gypsum* lebih sulit dibentuk menjadi batang-batang ϕ 3 mm jika dibanding dengan campuran tanah gambut + 5% PC + 0% *gypsum*. Berarti untuk membuat batang-batang ϕ 3 mm dari campuran tanah gambut, *gypsum* dan PC diperlukan kadar air yang lebih tinggi. Fenomena ini seperti diperlihatkan pada Gambar 4.4 yaitu semakin tinggi kadar *gypsum*, semakin tinggi pula batas plastis pada campuran tanah gambut + PC + *gypsum*.

c. Pengaruh Kadar PC + *Gypsum* Terhadap Indeks Plastisitas

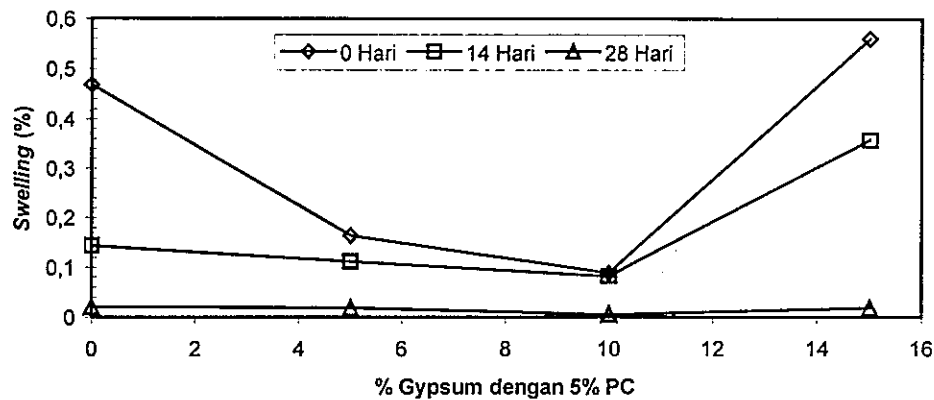
Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis dalam kadar air yang berkisar antara batas cair dan batas plastis. Kisaran ini disebut indeks plastisitas. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Pada pengujian ini dapat dilihat bahwa terjadi penurunan indeks plastisitas bersamaan dengan penambahan kadar *gypsum* dan masa perawatan. (Gambar 4.5).



Gambar 4.5. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap indeks plastisitas dengan masa perawatan

Untuk tanah gambut murni, tanah tidak mempunyai indeks plastisitas ($IP = 0$) karena batas plastis lebih besar dari pada batas cair. Sehingga tanah dilaporkan sebagai tanah non plastis.

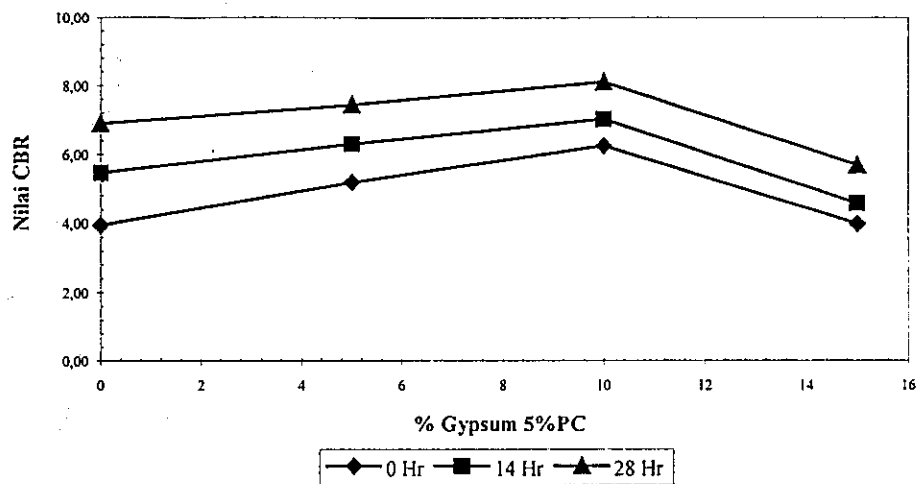
4.2.4. Pengaruh PC-Gypsum Dan Masa Perawatan Terhadap *Swelling*



Gambar 4.6. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap *swelling* dengan masa perawatan

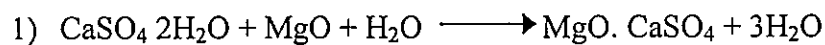
Swelling atau pengembangan terjadi apabila tanah mengalami penambahan air. Nilai *swelling* untuk campuran 5% PC + 0% *gypsum* pada kadar air optimum 110% dan berat volume kering $0,568 \text{ gr/cm}^3$ untuk masa perawatan 0 hari, sebesar 0,468%. Nilai *swelling* yang didapat dari pengujian, sampai pada campuran 5% PC + 10% *gypsum* mempunyai karakteristik yang cenderung menurun bersamaan dengan penambahan masa perawatan. Pada campuran 5% PC + 10% *gypsum* dengan kadar air optimum 80% dan berat volume kering $0,564 \text{ gr/cm}^3$ untuk masa perawatan 0 hari, sebesar 0,088%. Hal ini dapat difahami karena selama proses ikatan PC dan *gypsum* dihasilkan $\text{MgO} \cdot \text{CaSO}_4$, $2\text{CaOSiO}_2 \cdot 2\text{CaSO}_4$ dan $3\text{CaOA}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$ yang bersifat mengikat butiran tanah gambut. Adanya ikatan ini menyebabkan campuran tanah gambut, PC dan *gypsum* menjadi satu kesatuan yang kokoh dan keras serta bersifat *impermeable*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada masa perawatan 28 hari, nilai *swelling* untuk campuran 5% PC + 15% *gypsum* baru terlihat adanya perbaikan, yaitu sebesar 0,017%.

4.2.5. Pengaruh PC - *Gypsum* Dan Masa Perawatan Terhadap Nilai CBR

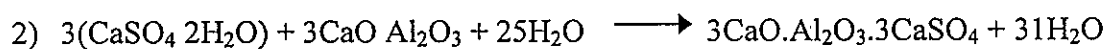


Gambar 4.7. Pengaruh kadar PC – *gypsum* terhadap nilai CBR dengan masa perawatan.

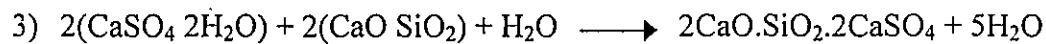
Secara keseluruhan nilai CBR mempunyai kecenderungan meningkat pada kadar air optimumnya masing-masing, untuk setiap penambahan kadar *gypsum* dan masa perawatan (Gambar 4.7) hal ini terjadi karena :



Bila gambut + PC + *gypsum*, ion Mg pada gambut akan menambah konsentrasi pada senyawa $\text{MgO} \cdot \text{CaSO}_4$ sehingga terjadi pengerasan pada semen. Fungsi MgO menurunkan suhu dalam pembentukan tingker (beton), jika kelebihan MgO beton yang terbentuk akan cepat retak.



Bila gambut + PC + *gypsum*, ion Ca^{2+} pada gambut akan menambah konsentrasi pada senyawa $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$ yang mengakibatkan ikatan yang cukup baik. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4.7 dimana penambahan kadar *gypsum* menaikkan nilai CBR terhadap masa perawatan.



Bila gambut + PC + *gypsum*, ion Si pada gambut akan menambah konsentrasi pada senyawa $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaSO}_4$ dan menyebabkan suhu yang dibutuhkan untuk mereaksikan ikatan tidak terlalu tinggi. Karena SiO_2 yang tinggi berfungsi mengeliminir Al_2O_3 yang tinggi untuk mereaksikan ikatan.

Masa perawatan 28 hari dengan kadar air optimum dan kadar *gypsum* yang sama, nilai CBR yang dihasilkan naik, dari pada masa perawatan 0 hari dan masa perawatan 14 hari. Dapat dicontohkan di sini campuran 5% PC + 10% *gypsum* dengan kadar air optimum 80% pada masa perawatan 0 hari mempunyai nilai CBR sebesar 6,25%. Dengan kadar air optimum yang sama, campuran 5% PC dan 10% *gypsum* untuk masa perawatan 14 hari mempunyai nilai CBR sebesar 7,05% dan untuk masa perawatan 28 hari nilai CBR yang didapat sebesar 8,17%. Hal ini disebabkan pada masa perawatan 28 hari PC dan *gypsum* mempunyai cukup waktu untuk melakukan proses pengikatan dan pengerasan.

Secara keseluruhan dilihat dari daya dukung tanah yang diwakili oleh nilai CBR laboratorium pada masa perawatan 28 hari, campuran tanah gambut + 5% PC (G+5%P), gambut + 5% PC + 5% *gypsum* (G+5%P+5%Gy), campuran gambut + 5% PC + 10% *gypsum* (G+5%P+10%Gy) dan campuran gambut + 5%PC + 15% *gypsum* (G+5%P+15%Gy) memenuhi persyaratan dari Bina Marga (1995) sebagai tanah dasar (*subgrade*) yaitu minimal mempunyai nilai CBR 5%. Sedangkan dari Tabel 4.7 nilai CBR yang didapat untuk tiap campuran dengan kadar air optimumnya masing-masing lebih besar dari 5%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini tanah gambut Rawa Pening termasuk jenis *fibrouse peat* dengan sifat indeks meliputi kadar kering udara 21,83%, *specific gravity* 1,72, batas cair 104,37%, batas plastis 116,78%, indeks plastisitas 0%, kadar bahan organik 62,27%, kadar serat 62,12% dan kadar abu 37,73%.
2. Penambahan 5% PC dan kadar *gypsum* 5%, 10% dan 15% terhadap berat kering tanah gambut cenderung menaikkan berat isi kering maksimum dan menurunkan kadar air optimum dalam proses pemadatan dengan energi pemadatan yang sama.
3. Penambahan 5% PC dan kadar *gypsum* 5%, 10% dan 15% menyebabkan penurunan batas cair dengan bertambahnya masa perawatan. Batas plastis akan mengalami kenaikan dengan bertambahnya kadar *gypsum* dengan masa perawatan. Indeks plastisitas mengalami penurunan pada penambahan kadar *gypsum* dan masa perawatan.
4. Karakteristik pengembangan (*swelling*) pada campuran gambut + 5%PC + *gypsum*, dengan variasi kadar *gypsum* 5% dan 10% pada kadar air optimum masing-masing sesuai dengan hasil pemadatan mempunyai kecenderungan semakin menurun pada setiap masa perawatan yang dilakukan. Tetapi pada campuran 5% PC + 15% *gypsum*, karakteristik pengembangan (*swelling*) mengalami kenaikan dibandingkan dengan campuran tanah gambut 5% PC atau campuran 5% PC dengan kadar *gypsum* 5%, 10% untuk setiap masa perawatan yang diberikan.

5. Karakteristik nilai CBR yang dihasilkan pada campuran 5% PC + 5% dan 10% *gypsum* dengan kadar air optimumnya masing-masing, mempunyai kecenderungan naik pada setiap masa perawatan yang diberikan. Nilai CBR mencapai maksimum pada campuran 5% PC + 10% *gypsum* dengan kadar air optimum 80%, yaitu sebesar 8,17% pada masa perawatan 28 hari. Pada masa perawatan 28 hari, campuran 5% PC + 15% *gypsum* dengan kadar air optimum 52.5%, nilai CBR yang didapat turun menjadi 5,80%.
6. Secara garis besar stabilisasi tanah gambut dengan semen dan *gypsum* sintesis ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mempengaruhi sifat fisik tanah gambut dan menaikkan daya dukung tanah yang ditunjukkan dari nilai CBR yang didapat. Nilai CBR maksimum yang dihasilkan terdapat pada campuran 5%PC + 10% *gypsum* dengan kadar air optimum 80% pada masa perawatan 28 hari. Pada masa perawatan 28 hari, nilai CBR pada tiap-tiap campuran mempunyai nilai lebih besar 5%. Nilai CBR 5% merupakan persyaratan Bina Marga bagi tanah, untuk dapat dijadikan subgrade jalan .

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disampaikan saran sebagai berikut :

1. Pada Penelitian ini masih banyak kekurangan dan fenomena tanah gambut yang distabilisasi dengan semen dan *gypsum* yang belum terjawab, karena kekurangan uji pendukung. Oleh karena itu perlu penelitian lanjutan dengan memfokuskan pada pengaruh reaksi kimia antara gambut + semen + *gypsum*.
2. Pengujian pengaruh tingginya bahan organik pada tanah asli dan campuran perlu dilakukan dalam hubungannya dengan pemadatan pada tanah gambut.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO. (1974).” Guide for Design of Pavement Structures,”Pubilshed by The American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.

ASTM D 422 – 63. (1997),”*Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils¹*”, *Annual Book of ASTM standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 10-16.

ASTM D 698 – 91^{e1}. (1997),”*Test Method Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 77-84.

ASTM D 854 (1997),”*Standard Test Method for Specific Gravity of Soils¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 88-91.

ASTM D 1883– 94. (1997),”*Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 159-165.

ASTM D 1997 – 91. (1997),”*Standard Test Method for laboratory Determination of Fiber Content of peat Samples by Dry Mass¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 166-167.

ASTM D 2216 – 92. (1997),”*Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 188-191.

ASTM D 2974 – 87. (1997),”*Standard Test Method for Moisture Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 285-287.

ASTM D 2977. (1997),”*Standard Test Method for Particle-Size of Peat materials for Horticultural Purpose¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 290-291..

ASTM D 4318 – 95a. (1997),”*Standard Test Method Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 522-532.

ASTM D 4427 – 92. (1997),”*Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing¹*”, *Annual Book of ASTM Standard*, ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, Vol. 04.08, pp 596-597.

Bagus Priyatno. (1997).” Pengembangan Sistem Pengolahan Batu Kapur/Gamping (CaO) Menjadi *Gypsum Sintesis* (CaSO₄. 2H₂O) Dengan Reaksi Penggaraman”, Kerjasama :

Laboratorium Growth Center Kopertis Wilayah VI dengan Bappeda Tingkat I Jawa Tengah, 1997.

Berry, P.L, and Reid, D. (1987). "*An Introduction to Soil Mechanics*", Department of Civil Engineering University of Salford, Mc Graw-Hill Book Company.

Bowles. (1993). "Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah," Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Campbell, F.T., Pfefferkorn, R., Rounsaville, J.F. (1985). "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry," Fifth Completely Revised Edition, Volume A4, VCH Verlagsgesellschaft mbH D-6940 Weinheim, Federal Republic of Germany.

Das, B.M., Mochtar, N.E., dan Mochtar, I.B. (1995). "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)", Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Daud, S dan Rahardian, H. (1997). "Pondasi Jalan Pada Tanah Gambut", *National Seminar On Technology of Roads and Bridges On Soft Soils*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, TTSD Project, Proceedings, Vol. 1, pp 30-56.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (1995). "Petunjuk Teknis no.023.T Bt 1995, spesifikasi Umum Jalan Kabupaten", Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Edil, T.B. (1998). "Soft Soil Engineering : Peat and Organic Soils", Proceeding : Geoteknik di Indonesia Menjelang Milenium ke-3, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Franklin, A.F., Orozco, L.F., and Semrau, R. (1973). "*Compaction of Slightly Organic Soils*", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 99, No. SM7, 541-557.

Hardiyatmo, H.C. (1992). "Mekanika Tanah", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Hermin Tjahyati. (1997). "Stabilisasi Tanah Organik Menggunakan Kapur dan Semen", *National Seminar On Technology of Roads and Bridges On Soft Soils*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, TTSD Project, Proceedings, Vol. 1, pp 106-113.

Ingles, O.G. and Metclaf, R.D. (1971). "*Stabilization principles and Practice*", Butterworths Pty Limited, Australia.

Kerbs, R.D. and Walker, R.D. (1971). "Highway Materials", Mc Graw-Hill Inc USA.

Mansyur, I. (1996). "Perilaku dan Cara Memperkirakan Pemampatan Tanah Gambut", Short Course : *Soil Behavior*, Program Pasca Sarjana Konsentrasi Teknik Sipil, Bidang Kajian Geoteknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Agustus 1996, Vol. 3, Session 2.

Mac Farlane, I.C. (1959). "A Review Of The Engineering Characteristics of Peat", *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, SM-1, pp. 21-35.

Mochtar, N.E. dan Mochtar, I.B. (1991).” Studi Tentang Sifat Fisik dan Sifat Teknis Tanah Gambut Banjarmasin dan Palangkaraya serta Alternatif Cara Penanganannya Untuk Konstruksi Jalan Raya”, Laporan Penelitian, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Murdock, L.J. and Brook, K.M., Hindarko, S., (1991).”Bahan dan Praktek Beton”,Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.

Proctor, R.R. (1933).” *Design and Construction of Rolled Earth Dams*, ”*Engineering News Record*, Vol. 3, 245-248, 286-289, 348-351, 372-376.

Ruktiningsih, R. (1996). “Stabilisasi Tanah Gambut dengan Kapur dan Geosta”, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan), Yogyakarta.

Soedarmo, G.D., dan Purnomo, S.J.E (1997).”Mekanika Tanah”, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Soekoto, I. (1984).”Mempersiapkan Lapis Dasar Konstruksi 1 dan 2”,Badan Penerbit Pekerjaan Umum Jakarta.

Sudarwanto,B .(1998).”Stabilisasi Tanah Gambut sebagai Subgrade dengan Asbuton”,Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (tidak dipublikasikan), Yogyakarta.

Sukirman, S. (1995).”Perkerasan Lentur Jalan Raya”, Nova, Bandung, 1995.

Yunan, A.R. (1999).” Studi Ekperimentasi Pemampatan Gambut Kabupaten Pontianak Menggunakan Sel Rowe”, Skripsi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak