

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMEN :

PERUBAHAN HUBUNGAN *LOAD - DISPLACEMENT*

TANAH PADA PENGGUNAAN *LIME COLUMN*



DISUSUN OLEH :

NAMA : ANDI PRIMA
NO. MHS : 99 511 313

NAMA : FAUZAN APRILIANOR
NO. MHS : 99 511 335

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2004

TUGAS AKHIR
STUDI EKSPERIMEN :
PERUBAHAN HUBUNGAN *LOAD-DISPLACEMENT* TANAH
PADA PENGGUNAAN *LIME COLUMN*

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka Memperoleh Derajat
Sarjana Teknik Sipil Pada Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

Jogjakarta

DISUSUN OLEH :

ANDI PRIMA
99 511 313

FAUZAN APRILIANOR

99 511 335

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2004

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL :
PERUBAHAN HUBUNGAN *LOAD - DISPLACEMENT* TANAH
PADA PENGGUNAAN *LIME COLUMN***



DISIJSUN OLEH :

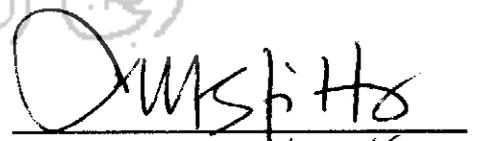
ANDI PRIMA
99 511 313

FAUZAN APRILANOR
99 511 325

TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH :

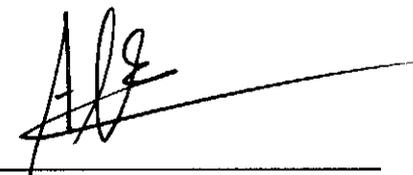
Dr. Ir. LUTHFI HASAN, MS

DOSEN PEMBIMBING I


TANGGAL 08/05/04.

Ir. AKHMAD MARZUKO, MT

DOSEN PEMBIMBING II


TANGGAL 08-5-2004

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu' alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis berhasil menyelesaikan kegiatan tugas akhir.

Laporan tugas akhir ini sesuai dengan kurikulum yang ada di lingkungan Program Studi Teknik Sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh jenjang kesarjanaan Strata I.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui besarnya perubahan hubungan *load* dan *displacement* pada tanah lempung yang menggunakan *lime column* (konfigurasi segi empat) dengan konfigurasi prosentase campuran antara tanah lempung kering dengan kapur kering 0 %, 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 %, akibat pembebanan. Hal ini sangat bermanfaat bagi mahasiswa Teknik Sipil, karena dapat membandingkan antara pengetahuan teoritis yang didapat di bangku kuliah dengan kenyataan dilapangan, sehingga ilmu akan bertambah dengan sendirinya dan berguna dikemudian hari.

Selama melaksanakan penelitian tugas akhir dan menyusun laporannya, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada yth :

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta,
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia,

3. Bapak Dr. Ir. Luthfi Hasan, MS, selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
5. Bapak Ir.H.Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Penguji,
6. Bapak Ir. H. A. Halim Hasmar, MT, selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, FTSP, UII,
7. Bapak Sugiyana, selaku laboran Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, FTSP, UII,
8. Bapak dan Ibu penulis atas semua kasih sayang, doa-doa dan kucuran dananya,
9. Teman-teman semuanya yang telah banyak membantu,
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Pada akhirnya segala daya upaya serta kemampuan telah penulis curahkan sepenuhnya demi terselesaikannya laporan tugas akhir ini, namun semua ini tidak terlepas dari segala kekurangan yang ada. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kebaikan laporan ini. Semoga semua amal sholeh diterima oleh Allah SWT dan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semuanya.

Wabillahittaufig walhidayah

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb

Jogjakarta, April 2004

Penulis



Untuk
Ayah, Ibu, Saudara dan Juga
Persembahkan Bagi Bangsa dan Negaraku Indonesia



Karya ini ku persembahkan untuk :

☪ **Allah SWT,**

Atas semua Rahmat dan Hidayah yang melimpah yang telah Kau berikan kepada Hamba-Mu yang lemah ini.

☪ **Nabi Besar Muhammad SAW,**

Atas jasa besarMu membawa umat manusia kealam yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

☪ **Bapak dan Omak tercinta,**

Terima kasih atas semua kasih sayang, perhatian, nasehat-nasehat dan doa-doa yang tulus yang telah kalian berikan serta dana-dana yang telah kalian limpahkan kepada anak bungsumu selama hidupku. I LOVE YOU.....!!!!

☪ **Kakak-kakakku tersayang,**

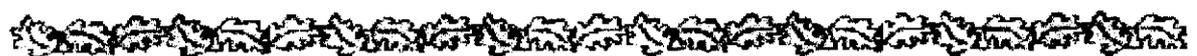
Andak Olen & Bang Nawu, Bang Agus & Kak Eva, Andak Neneng & Bang Eman, Bang Tatan & Mbak Usnul, Bang Edit (*kapan nikah nich.....???*). terima kasih atas kasih sayang, perhatian, bantuan, nasehat serta omelan-omelannya selama ini, moga kita semua hidup rukun ya....!!!

◆ **Keponakan-keponakanku yang nakal-nakal,**

Alan, Ezie, Mimmy, Fiza, Favo, Yoan, Cika dan dicky, Moman sayang kalian semua, muach.....!!!!

☪ **Seseorang yang berinisial "N",**

Aku akan selalu mencintai, merindukan dan menyayangimu, sampai akhir hayatku.....!!!! (*Cinta itu tak selamanya harus memiliki.....!!!!!!*)



Terima Kasih Ku Kepada :



- ⊕ Keluarga Bang Fadly dan Kak Emy, Sarah, Iza, dan Jasmine, terima kasih atas semua bantuan dan dukungannya, Berkat kalian aku bisa mengenal dan hidup mandiri di Jogja ini, hingga aku menyelesaikan studyku, terima kasih atas tumpangannya
- ✦ Keluarga Pak Eyusfendi di Pematang Reba, terutama Bang Ade, terima kasih atas bantuannya dalam urusan keberangkatan pertama kali ke Yogya, karena berkat Abang, Aku bisa berangkat untuk kuliah di Yogya.
- Fauzan "Bibir Plus" Aprilianor, kamu adalah teman yang sangat menyenangkan, terima kasih atas kerja samanya selama ini, moga kita sukses dalam cita dan cinta, amin.....!!! (*Bibir kamu makin sexy dech, jadi gregetan!!!! Apalagi klo pas tidur, suaranya itu loh bikin....?????*)
- ▶ Teman terbaikku sekaligus Kakakku, tempatku berkeluh kesah, Nofan "OOPS" Hernandi, makasih atas nasehat-nasehatnya, serta semua yang telah kau berikan pada adekmu ini, semoga Dee Sheva akan selalu ingat, terutama menjalankan Sholat 5 waktu. (*Kejar terus Si "Teteh" Imut.....!!!!*)
- ✦ Teman-teman sama-sama penelitian TA di Lab Mektan, Mas Ade, Mas Yadi, Mas Fery, Mas Anang, Mbak Yossi, Yoggi', Teza, terutama Mas Sugiyana, makasih atas bala bantuan dan canda tawanya yang bikin Lab rame!!!! (*Maen tanah terus nich, udah minum Combantrine belum??? ntar cacingan lho.....!!!!*)
- ⊕ Teman-teman SIPIIL'99, Tio, Iih, Budi, Taufik, Anggo, Ujang, Eko, Anggun, Billy, Herry, Suji, Yuma, Otok, Bowo', Arnis, Inda', Pudik, Arif, Ari, Ronald, bocan, Dany, Andi, Rizki, Fatma, Iyus, Ulill lila, Lidya, anak-anak bola minggu pagi, terima kasih semuanya, waduh siapa lagi ya??????? Klo nggak disebut jangan marah ya.....!!!! Kalian tetap teman terbaikku.
- ◆ Anak^{xx} HPPS Yogya, terutama Edri Resven (*olah dapek kojo olun?, bilo kawen lai?, menyoma'an Peganok jo baang*), Aspar (*bila jolai'o, Mati keracak'an jo situ, bacewek'an toguy bang ro, Chakay.....!!!!*) dan yang lainnya, Erwin ketua, Yeyen, Eckho, Ria, Amphie, Ade, Adex, Didik, Q_Q, B'Andre, Andreanus, Yessi, Ari, Ali, Mira, Arief, Fery dan yang idak tasobut namo e, jangan maga ra'?makasih atas segalo'e,den balek kampung dulu yo?? Jago Jogja o elok-elok yo !!!
- Teman - teman Kos Ngalangan 01, Yogya. Kiki Tompel, Rama Yana, Danii AMWAY, Rifky Kepret, Reza Wingko, Afif Cah Emperror, Oechay Ting bating, Fengkiek Gatel, Blendies ***Tuu, Camien Bibir, Antok Togok, Hendra Goendoel, Rio bantal guling, makasih ya atas semua bantuan serta canda tawanya selama ini, dan juga alumni kos ngalangan ini (Yayat, Jimmy, Muji, Aries, Mas Agung, Bontot, Inda'(2x disebutin nich!!!), mas Fahmi, Mas Herman, Gendut, Bleweh Ndut, Hanif sumpah, Ucok Baba, Arnis Cheking, Mas Adi, Novi, Ucok, Sayid, Tiok dukun, Didoen, No Number 1, No Number 2,.....???????? Dimanakah kalian semua sekarang??? Aku rindu..... !!!
Kasur dan bantal guling serta semua isi kamarku yang telah menjadi saksi atas semua yang telah terjadi atas diri aku selama ini, baik dalam keadaan sedih, gembira, kecewa, marah, nangis, sakit, benci, rindu, jatuh cinta (*cuileee.....!!!!*), bingung dan semua-muanya, (*SSsssst jangan bilang sapa-sapa ya.....!!!!*)
- ✦ Dan semua orang-orang yang pernah hadir dalam hidupku, mulai dari kecil sampai sekarang ini, baik yang ku kenal maupun tidak, baik yang dekat maupu jauh, baik yang ku sayang atau pun yang ku benci, baik yang sayang aku dan yang benci aku, baik yang suka atau tidak suka, baik yang ku ingat ataupun yang lupa. baik yang hidup ataupun yang telah wafat, baik langsung maupun tidak langsung, makasih atas semuanya, kalian telah memberikan warna-warni dalam kehidupan ini.....!!!!



Persembahkan **Fauzan_9 (Aa')** untuk :



♥ **Allah SWT** atas segala pertolongan dan rahmat-Nya selama ini

☉ **Nabi Muhammad SAW** yang telah membawa manusia kepada jalan kebaikan

♪ Almarhum **Kakek dan Nenek** ku yang tersayang

♪ Keluarga tercintu : **Abah dan Mama** yang sangat kusayangi dan kubanggakan (maafkan daku agak telat lulusnya), adikku tersayang **Aida** (belajar yg rajin, buat abah, mama n abang bangga padamu !!!!)

☺ Keluarga **BESAR** di **SAMPIT** seperti : gulu Ona, acil Idah, amank Mahdy, acil Siati, acil Mardiah, acil ipau, amank Abub, acil waty, om Teguh, amang Acah, acil Azza, amank Iruk, amank Agau, om Saleh, acil Mimin, terima kasih atas segala doanya selama ini

△ Sepupu"ku yang tersayang : Adink eko (Be a Good Policeman !!!), evrina, wiwid, ririn, Alm. adikku **Sagita Lisa** (doaku slalu menyertaimu), *muhammad indra*, icha (imut), wulan (sipit), tiwi, vera, puput (centil), fauzi (little fauzan), bayu (kantung), ayu (ndut), bima (bim-bim), kiky (neng geulis) serta seluruh Keluarga Besar yang ada di **Tumbang Samba**

Σ "Bapak n ibu adink", serta mas didik n dik sigi di Celungan

Ω Seseorang yang sangat ku sayangi **Etik Suryanti** (adink' cantik), terima kasih atas segala kasih sayang, dorongan semangat, doa', senyum, dan ketulusannya selama ini

γ Gian dan Tanti (met menempuh hidup baru ya, smoga langgeng selalu n cepat punya baby ...)

λ Sang Guru H. Akhmad Drajad (AA Boxer) terima kasih atas inspirasi dan filosofisnya selama ini
"Aku Ramah Bukan Berarti Takut , Aku Tunduk Bukan Berarti Takluk"

ع Spesial untuk **AA' Ronaldo Luiz Nazario Da Lima (9)** : kaulah inspirasiku dalam membuat gol selama ini (berapa gooollll ya?...sudah lupa tuh)

Special thanx's :

- **Andi Prima ST** (**Idunk** yang manis), terima kasih atas kerjasamanya selama ini dan semoga kita sukses selalu (maafin segala kesalahan selama ini ya, kapan mau maen ke **Sampit** ?)
- ☪ **Teman” Tim Songo ’99** : **Aa’ Nofan** (you are my **best** friend’s), dedek’ ijo (Treze_17) , pudik (mas karyo), ali sofyan (terima kasih atas gol” nya selama ini), eko anggung/takur, eko rahmady, sohib/sobat, rama/botol, lamberto (kapan main PS lagi mbe?) bowo, **dayat** (saya), fahmi , dany parto (ngeceng” disit laaahh..), hery sandy (iya siiih), noman (tambah tinggi aja lo man), harry azhari (twin man) , boy, anggo, ronald, kiss, danang, arif (**pippo**), **taufix warix** (amun bebini undang” unda lah !), anisha bagas, leonardho, mul (cepat dapat pacar ya), partosen (gigg’s mania), dino (jangan tidur terus), jabay (tambah pedes aja), rully, toyo, n gud.
- μ **Civil Community ’99** : **Tyo** (cepat sembuh ya my Best Friend’s), **budi** (bang jaja), ari layangan (makasih atas segala bantuannya), fauzi (kejar aku ya my brother’s), buary (mirip treze?), candra (bocan), iwan (imut), uma, heny, handa, wisnu, ella, betty, amel, aan, atun, litya, wiwin, ujangk (pacar baru nih ye), dony, yadi, , rizky ndut, kang edy, yohan, tessa, yogi, wawan kribu, iix, fatma, oksya, n semua teman yg mungkin terlupakan (maklum sudah tua...hehehe !)
- 3 **Kang Yayan**(my Master) terima kasih atas gembelngannya selama ini (BOX kang...!!!!)
- ♪ **Petarung “ BOXER “ UII Terpadu Angkatan I** : andri banatra (preman), ricky Joe, joko pelo, joko koping, herwan (Gogon), munajah (ajie), GARONG (gagah ronggo), andri kandar, joko cool (my brother’s), yus, ferna, aku merindukan pertarungan dengan kalian lagi my friend’s...
- ⌘ **teman”ku** : dr.edy, dr.trisno, **Mr. Zhalam**, deny Sheldon, syahrizal, **ovu”the eye”** wisnu, ali akbar, ari suchen, kristyn, diana ichin (mama), dewy, ayu asmara, titi, karlina, yuni, letda widy, agus, ade, mas ade, mbak yosie n mas nanang (lulus bareng yuk), mas yadi n mas fery
- ⊖ **Bapak slamet** n bu etik (kos lama) n bapak purwanto n bu erna (kos baru) dan adik” ku Guruh (poles), Laras (kacian deh lu),n **Little Dilla** (imut) terima kasih atas tumpangan hidupnya n segala nasehatnya (maafin kalo anak” kos sering telat bayar uang listriknya)
- ∩ **anak” kos yang pade TOP abis** : echo “**ngebros n grandonk mania**”yulianto, andy biaggi (kok kalah terus sih dr **Rossi** ?), Yudi “**gerakane meet**”, Mas sulies (bos **Oriflame**), Mas **Anank Markunang**” (the lost boy)...moh bue mi alo?... (mari kita sebarkan gerakane Meeeeeetttt...!!!!!!) , jaga terus kekompakan nya n jangan lupain Ahonk Markohong-kohong ya!
- ∩ untuk seluruh **Internisti** (terus dukung **Inter** yah..mari kita raih **scudetto** bersama”)

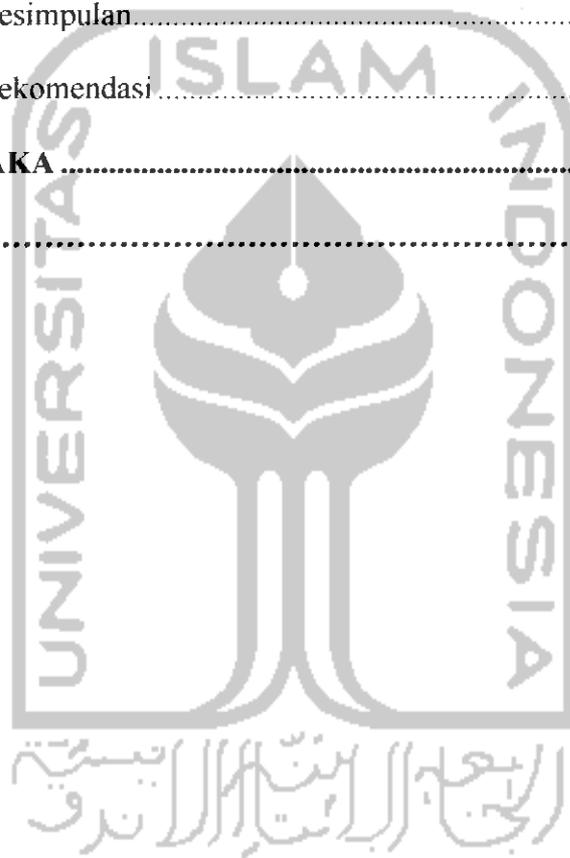
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR NOTASI	xxi
ABSTRAKSI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Lokasi Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Penelitian Penggunaan Kolom Kapur (<i>lime column</i>) sebagai bahan stabilisasi	5
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	6
3.1 Tanah	6

3.1.1 Umum.....	6
3.1.2 Komposisi Tanah dan Klasifikasi.....	6
3.1.3 Hubungan Antara Fase Tanah.....	7
3.1.4 Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif.....	10
3.1.5 Batas Konsistensi Tanah.....	10
3.2 Tanah Lempung.....	13
3.2.1 Karakteristik Tanah Lempung.....	13
3.2.2 Jenis tanah lempung.....	14
3.3 Stabilisasi Tanah.....	16
3.2.1 Stabilisasi Mekanik.....	17
3.2.2 Stabilisasi Fisik.....	17
3.2.3 Stabilisasi Kimia.....	17
3.4 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek.....	19
3.5 Mekanisme Transfer Beban.....	21
3.6 Daya Dukung Tiang.....	21
3.6.1 Tiang Pancang Pada Tanah Lempung.....	22
3.6.2 Kelompok Tiang.....	22
3.7 Kolom Kapur.....	26
3.8 Macam-macam kapur.....	28
3.8.1 Kapur Api (<i>quick lime</i>).....	28
3.8.2 Kapur Hidrat (<i>hydrated lime</i>).....	29

3.9	Reaksi Tanah-Kapur.....	29
3.9.1	Absorpsi air, reaksi eksotermis dan reaksi ekspansif.....	29
3.9.2	Reaksi pertukaran ion.....	29
3.9.3	Reaksi pozzolanik.....	30
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	31
4.1	Alat dan Bahan yang Digunakan.....	31
4.2	Data yang diperlukan.....	31
4.3	Metode Pengujian.....	32
4.3.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	32
4.3.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah.....	33
4.4	Pemodelan Benda Uji.....	33
4.5	Variasi Sampel.....	35
4.6	Teknik Pencampuran.....	36
4.7	Teknik Pengujian.....	39
4.8	Sistematika Penelitian.....	40
BAB V	HASIL PENELITIAN.....	42
5.1	Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung.....	42
5.2	Hasil Uji Pembebanan.....	43
BAB VI	ANALISIS HASIL PENELITIAN.....	46
6.1	Sifat-Sifat Tanah Asli.....	46
6.2	Analisis Hubungan Beban dengan Penurunan Terhadap Prosentase Berat Kapur.....	47

6.3 Analisis Perubahan Penurunan Tanah Terhadap Variasi Tinggi <i>Lime Column</i>	51
6.4 Analisis Perubahan Penurunan Tanah Akibat Pemeraman	57
BAB VII KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	66
7.1 Kesimpulan.....	66
7.2 Rekomendasi.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 3.2	Variasi Volume dan Kadar Air Pada Kedudukan Batas Cair, Batas Plastis dan Batas Susutnya	12
Gambar 3.3	Struktur dari kaolinit, struktur atom, struktur simbolis.....	13
Gambar 3.4	Struktur simbolis dari ilit	14
Gambar 3.5	Struktur simbolis dari monmorilonit	14
Gambar 3.6	Partikel lempung	18
Gambar 3.7	<i>Point Bearing (End Bearing) Piles</i>	19
Gambar 3.8	<i>Friction Piles</i>	20
Gambar 3.9.	Bidang runtuh untuk sebuah tiang pancang dan sekelompok tiang pancang	24
Gambar 3.10.	Konsep rakit ekivalen	25
Gambar 3.11	Prosedur untuk konstruksi kolom kapur.....	26
Gambar 4.1	Bentuk konfigurasi benda uji (segi empat).....	33
Gambar 4.2	<i>Lime column</i> dengan tinggi 30cm (sampai dasar benda uji / <i>end bearing</i>).....	34
Gambar 4.3	<i>Lime column</i> 2/3 tinggi benda uji (20 cm).....	34
Gambar 4.8	Urut- urutan pelaksanaan.....	40
Gambar 5.1	Grafik Analisis Butiran Tanah.....	43
Gambar 5.2	Grafik Penurunan Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 30 cm Dengan Waktu Peram (<i>curing time</i>) 0 jam	44

Gambar 5.3	Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (<i>lime column</i>) 20 cm dengan waktu peram (<i>curing time</i>) 0 jam	44
Gambar 5.4	Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (<i>lime column</i>) 30 cm dengan waktu peram (<i>curing time</i>) 48 jam	45
Gambar 5.5	Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (<i>lime column</i>) 20 cm dengan waktu peram (<i>curing time</i>) 48 jam	45
Gambar 6.1.	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 100 % (20 cm dan 30 cm) yang diuji pada 0 jam.....	56
Gambar 6.2.	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 100 % (20 cm dan 30 cm) yang diuji pada 48 jam.....	56
Gambar 6.3.	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 0 % (0 jam dan 48 jam)	58
Gambar 6.4	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>LimeColumn</i>) 30 cm dengan Prosentase Kapur 8 % (0 jam dan 48 jam).....	59
Gambar 6.5	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 30 cm dengan Prosentase Kapur 12 % (0 jam dan 48 jam).....	59
Gambar 6.6	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 30 cm dengan Prosentase Kapur 20 % (0 jam dan 48 jam).....	60

Gambar 6.7	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 30 cm dengan Prosentase Kapur 100 % (0 jam dan 48 jam).....	60
Gambar 6.8	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 20 cm dengan Prosentase Kapur 8 % (0 jam dan 48 jam).....	61
Gambar 6.9	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 20 cm dengan Prosentase Kapur 12 % (0 jam dan 48 jam).....	61
Gambar 6.10	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 20 cm dengan Prosentase Kapur 20 % (0 jam dan 48 jam).....	62
Gambar 6.11	Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (<i>Lime Column</i>) 20 cm dengan Prosentase Kapur 100 % (0 jam dan 48 jam).....	62
Gambar 6.12	Kuat tekan beton untuk berbagai jenis semen.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Lembar Konsultasi
- Lampiran 2 : Tabel Klasifikasi Tanah Sistem Unified
- Lampiran 3 : Tabel Klasifikasi Tanah Sistem USCS
- Lampiran 4 : Hasil Uji Tekan Bebas Tanah *Undisturb*
- Lampiran 5 : Tabel Pengujian Kadar Air Tanah
- Lampiran 6 : Tabel Pengujian Berat Volume Tanah
- Lampiran 7 : Tabel Pengujian Berat Jenis Tanah
- Lampiran 8 : Tabel Pengujian Analisis Granuler
- Lampiran 9 : Grafik Pengujian Analisis Granuler
- Lampiran 10 : Tabel dan Grafik Pengujian Batas Cair
- Lampiran 11 : Tabel Pengujian Batas Susut Tanah
- Lampiran 12 : Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Tinggi kolom 30 cm dan Waktu Peram 0 jam
- Lampiran 13 : Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Tinggi kolom 20 cm dan Waktu Peram 0 jam
- Lampiran 14 : Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Tinggi kolom 30 cm dan Waktu Peram 48 jam
- Lampiran 15 : Tabel dan Grafik Hasil Pengujian Tinggi kolom 20 cm dan Waktu Peram 48 jam

- Lampiran 16 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 0 % pada 0 Jam dan 48 jam
- Lampiran 17 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 8 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 30 cm
- Lampiran 18 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 12 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 30 cm
- Lampiran 19 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 20 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 30 cm
- Lampiran 20 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 100 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 30 cm
- Lampiran 21 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 8 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 20 cm
- Lampiran 22 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 12 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 20 cm
- Lampiran 23 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 20 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 20 cm

Lampiran 24 : Tabel dan Grafik Hasil Perbandingan Pengujian Campuran Kolom Kapur 100 % pada 0 Jam dan 48 jam dengan Tinggi Kolom Kapur 20 cm

Lampiran 25 s/d Lampiran 38 : Dokumentasi



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	12
Tabel 3.2	Porositas, angka pori dan berat unit air dari tanah-tanah tipikal dalam keadaan alami	15
Tabel 3.3	Berat jenis beberapa unsur tanah	16
Tabel 3.4	Nilai kuat tekan bebas (q_u) untuk jenis-jenis tanah lempung	16
Tabel 5.1	Data Sifat Fisik dan Indeks Tanah Lempung Salaman	42
Tabel 6.1	Peningkatan kekuatan tanah dengan <i>lime column</i> 30 cm yang langsung diuji (0 jam).....	48
Tabel 6.2	Peningkatan kekuatan tanah dengan <i>lime column</i> 30 cm yang diperam selama 2 hari (48 jam).....	48
Tabel 6.3	Peningkatan kekuatan tanah dengan <i>lime column</i> 20 cm yang langsung diuji (0 jam).....	49
Tabel 6.4	Peningkatan kekuatan tanah dengan <i>lime column</i> 20 cm yang diperam selama 2 hari (48 jam).....	49

DAFTAR NOTASI

c	Kohesi	(kg/cm ²)
φ	Sudut gesek dalam	(⁰)
W	Berat total	(gram)
W_s	Berat butiran padat	(gram)
W_w	Berat air	(gram)
V_s	Volume butiran padat	(cm ³)
V_w	Volume air	(cm ³)
V_a	Volume udara	(cm ³)
V_v	Volume rongga	(cm ³)
V	Volume total	(cm ³)
w	Kadar air	(%)
n	Porositas	(%)
e	Angka pori	(%)
γ_b	Berat volume tanah basah	(g/cm ³)
γ_d	Berat volume tanah kering	(g/cm ³)
γ_s	Berat volume butiran padat	(g/cm ³)
γ_w	Berat volume air	(g/cm ³)
G_s	Berat jenis	
LL	Batas Cair	(%)
PL	Batas Plastis	(%)
SL	Batas Susut	(%)

IP	Indeks Plastisitas	(%)
W_k	Berat tanah kering	(gram)
A	Kadar air tanah asli	(%)
B	Kadar air rencana	(%)
W_b	Berat tanah basah	(gram)
W_{kp}	Berat kapur	(gram)
N	Besarnya prosentase campuran	(%)
w_c	Kadar air campuran	(%)
W_{sp}	Berat sampel	(gram)
Q_u	Tahanan Ultimate	(kg)
Q_p	Tahanan ujung tiang	(kg)
Q_s	Tahanan gesek	(kg)
q_u	Kuat tekan bebas	(kg/cm ²)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 رابحة بنت ابراهيم



جامعة الإسلام في إندونيسيا

ABSTRAKSI

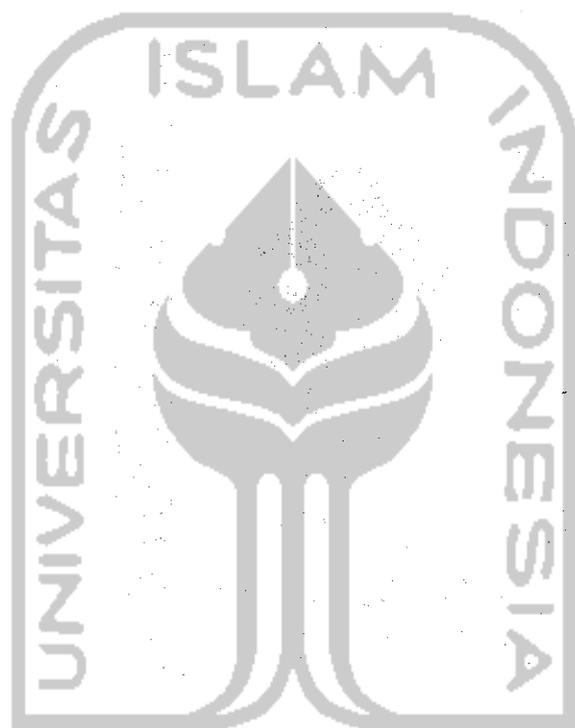
Mengingat hampir semua bangunan itu dibuat diatas atau dibawah permukaan tanah, maka harus dibuat fondasi yang dapat memikul beban bangunan untuk kemudian meneruskannya ketanah.

Syarat dari suatu desain fondasi adalah tidak boleh terjadi kegagalan daya dukung tanah (*bearing failure*) dan tidak boleh terjadi penurunan berlebihan (*excessive settlement*). Oleh karena itu berbagai cara perbaikan kondisi tanah sering dilakukan, diantaranya adalah stabilisasi kimia, salah satunya dengan stabilisasi kapur. Biasanya dilakukan dengan cara pencampuran kapur dan tanah yang kemudian dihamparkan, cara ini dilapangan sulit pelaksanaannya, sehingga diperlukan cara lain yang lebih praktis yakni dengan menggunakan kolom kapur.

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap prosentase berat kering kapur pada *lime column* 0 %, 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 %, untuk *lime column* dengan tinggi 30 cm (*end bearing*) yang mempunyai tahanan ujung terjadi peningkatan prosentase perubahan *settlement* sebesar 65,158 % untuk sampel yang diuji pada 0 jam dan 66,873 % untuk sampel yang diuji pada 48 jam. Untuk *lime column* dengan tinggi 20 cm (*skin friction*) terjadi peningkatan prosentase perubahan *settlement* sebesar 12,475 % untuk sampel yang diuji pada 0 jam dan 57,962 % untuk sampel yang diuji pada 48 jam.

Dari hasil diatas terlihat bahwa *settlement* pada *lime column* dengan tinggi 30 cm lebih kecil daripada *settlement* pada *lime column* dengan tinggi 20 cm, contohnya pengujian pada 0 jam untuk prosentase kapur 100 % dengan tinggi kolom kapur 30 cm terjadi *settlement* sebesar 5,195 cm sedangkan pada tinggi kolom kapur 20 cm terjadi penurunan sebesar 13,050 cm, hal ini disebabkan oleh adanya tahanan ujung (*end bearing pile*) sehingga penurunan yang terjadi lebih kecil. Terjadi proses kimia antara kapur, air dan udara yang ada didalam tanah lempung pada sampel *lime column*, air dan udara yang merupakan *coagulan* dari kapur membantu proses penggumpalan (*flocculation*) yang terjadi pada *lime column*, serta terjadi reaksi *pozzolanic* akibat adanya *curing time*.

Kata kunci : *lime column*



الجامعة الإسلامية في
إندونيسيا

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan suatu bangunan konstruksi baik itu bangunan gedung, bangunan irigasi, tanggul untuk sungai, jalan raya, bendungan, serta jalan kereta api perlu ditinjau keadaan tanah pada bangunan konstruksi tersebut, karena tanah merupakan bagian penting dari suatu konstruksi sehingga tanah tersebut harus mampu mendukung bangunan yang ada di atasnya.

Perencanaan suatu struktur bangunan tidak terlepas dari keterkaitan antara struktur atas, struktur bawah, dan tanah sebagai perletakan dari suatu bangunan. Penyelidikan tanah merupakan langkah awal dalam merencanakan pondasi suatu struktur bangunan. Penyelidikan dapat dilakukan di laboratorium maupun pengujian langsung di lapangan. Data yang diperoleh sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan suatu analisis mengenai sifat-sifat teknis tanah seperti daya dukung, kekuatan geser, dan penurunan .

Kondisi tanah yang ada di Indonesia ada bermacam-macam jenis, diantaranya adalah tanah lunak (*soft soil*) seperti yang terdapat di daerah DKI Jakarta bagian utara, Kotamadya Padang dan sekitarnya, Bintan Utara Kabupaten kepulauan Riau, Bendung Jati Gede Kabupaten Sumedang, Bogor Puncak Cianjur (BOPUNCUR) Jawa Barat. Tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah dan

penurunan yang besar sebagaimana hasil penelitian yang dilakukan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (<http://www.dgdl.dpe.go.id>).

Mengingat hampir semua bangunan itu dibuat diatas atau dibawah permukaan tanah, maka harus dibuat fondasi yang dapat memikul beban bangunan untuk kemudian meneruskannya ke tanah. Adapun syarat dari suatu desain fondasi adalah tidak boleh terjadi kegagalan daya dukung tanah dan tidak boleh terjadi penurunan berlebihan (*excessive settlement*).

Oleh karena itu berbagai cara perbaikan kondisi tanah sering dilakukan. Diantaranya adalah : stabilisasi mekanik, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimia. Stabilisasi kimia yang selama ini dilakukan dalam rangka perbaikan tanah salah satunya adalah dengan stabilisasi kapur, akan tetapi stabilisasi kapur yang dilakukan biasanya dengan cara pencampuran kapur yang kemudian dihamparkan. Pada kenyataannya cara ini dilapangan sulit pelaksanaannya, sehingga diperlukan cara yang lebih praktis yakni dengan menggunakan kolom kapur.

Kolom kapur (*lime column*) di Indonesia masih belum terlalu menjadi alternatif pilihan pada suatu pondasi bangunan, berhubung belum diyakini kekuatannya karena masih minimnya penelitian tentang kolom kapur. Padahal jika di jumpai tanah lempung lunak (*soft clay*) yang akan menjadi dasar pondasi dapat terpenuhi daya dukungnya hanya dengan menambahkan kolom kapur saja dengan prosentase kapur tertentu, sehingga akan terjadi banyak penghematan biaya pelaksanaannya (Diatri Nararatih, ST, 2000).

Berangkat dari pengertian diatas, penulis mencoba untuk melakukan *eksperimen* terhadap kekuatan tanah yang distabilisasi dengan menggunakan kolom kapur (*lime column*) dalam mendukung beban yang bekerja diatasnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya perubahan hubungan *load* dan *displacement* pada tanah lempung yang menggunakan *lime column* (konfigurasi segi empat) dengan konfigurasi prosentase campuran antara tanah lempung kering dengan kapur kering 0 %, 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 %, akibat pembebanan .
2. Melakukan analisis terhadap hasil eksperimen.

1.3 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini nantinya dapat bermanfaat, sehingga memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan tentang pendesainan fondasi dengan kolom kapur (*lime column*).

1.4 Batasan Penelitian

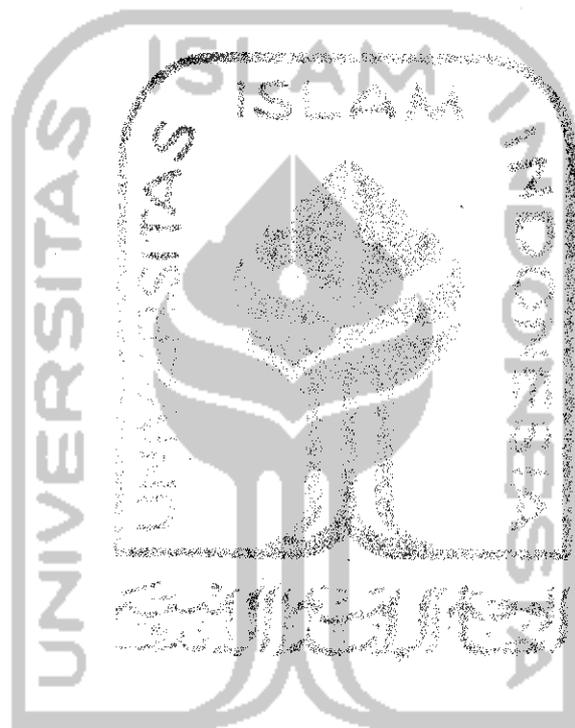
Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah lempung lunak (*soft clay*) yang digunakan dibuat (*remolded*) dengan kadar air 50 %
2. Kapur yang digunakan pada penelitian ini untuk setiap prosentase mempunyai jenis yang sama, yakni kapur hidrat (*hydrated lime*).

3. Suhu ruangan laboratorium dianggap konstan.
4. Perbandingan prosentase untuk *lime column* berdasarkan berat kering tanah dan berat kering kapur adalah 0 %, 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 %.
5. *Lime column* untuk semua uji pembebanan berdiameter 3,2 cm dengan tinggi 30 cm dan 20 cm (2/3 tinggi benda uji).
6. Penelitian hanya terbatas pada perubahan *settlement* tanah akibat pembebanan, tidak menganalisis unsur kimia tanah lempung dengan variasi campuran kapur hidrat (*hydrated lime*).
7. Dianggap tidak adanya pergerakan lateral (*lateral movement*)
8. Ukuran benda uji 30 cm untuk semua sisi-sisinya dengan anggapan bahwa dasar benda uji berfungsi sebagai lapisan tanah keras.

1.5 Lokasi Penelitian

Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia, jalan Kaliurang km 14,4 Jogjakarta.



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penggunaan Kolom Kapur (*lime column*) sebagai Bahan Stabilisasi.

Penelitian tentang tanah lempung yang distabilisasi menggunakan kolom kapur (*lime column*) telah dilakukan oleh Diatri Nararatih, ST (2000) mengambil topik “Perubahan Parameter Penurunan dan Kuat Geser Tanah Pada Penggunaan *Lime Column* “. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa tanah lempung lunak yang akan dipakai sebagai dasar suatu pondasi dengan kadar air 39-41 %, kohesinya (*c*) dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap prosentase berat kering kapur pada *lime column* 0 %, 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 % dapat mengalami peningkatan hingga ± 7 %.

Penambahan kolom kapur juga dapat meningkatkan sudut geser dalam (ϕ) yang seiring dengan kenaikan prosentase berat kering kapur pada *lime column* . Penggunaan *lime column* pada tanah lempung berlanau dapat meningkatkan tegangan yang terjadi pada tanah hingga ± 80 %. Regangan yang terjadi pada tanah cenderung mengalami kenaikan mengikuti penambahan prosentase berat kering kapur pada *lime column*. Terjadi proses kimia antara kapur dengan air dan udara yang ada di dalam tanah lempung pada sampel *lime column*. Air dan udara merupakan coagulan dari kapur untuk membantu proses penggumpalan (*flocculation*) yang terjadi pada *lime column*.

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tanah

3.1.1 Umum

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, atau pun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat erosi, angin, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca.

3.1.2 Komposisi Tanah dan Klasifikasi

Dari berbagai campuran partikel tanah yang ada dipermukaan bumi, terdapat beberapa jenis tanah yang kita ketahui :

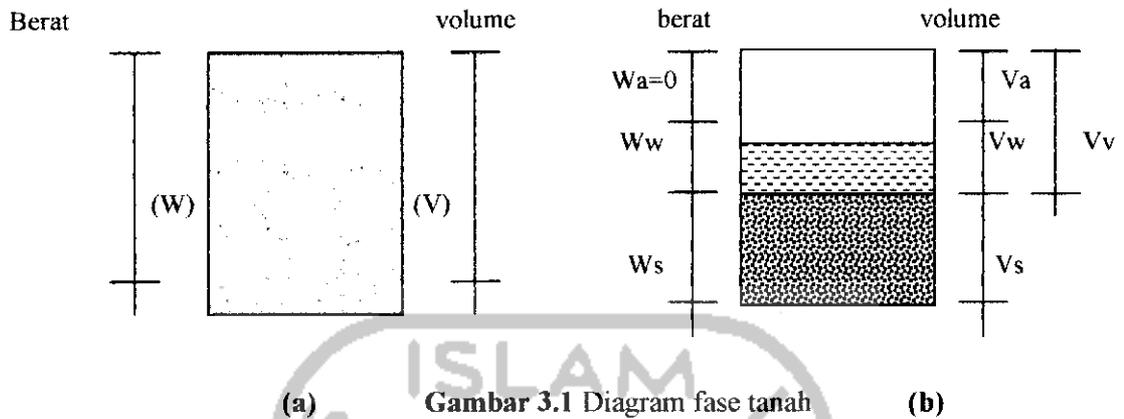
1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.

2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 sampai 159 mm.
3. Pasir (*Sand*), yaitu partikel batuan yang berukuran 0,074 sampai 5 mm. Dengan gradasi kasar 3 sampai 5 mm, hingga gradasi halus yang berukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*Silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074. Deposit loose terjadi bila angin mengangkut partikel lanau kesuatu lokasi. Angkutan oleh angin ini dapat membatasi ukuran partikel yang dibawanya sehingga dihasilkan deposit lanau yang homogen.
5. Lempung (*Clay*) yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesi.
6. Koloid (*colloids*), yaitu partikel tanah yang diam dalam arti merupakan partikel tanah yang dianggap paling kecil, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Apabila dalam suatu deposit diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak, maka deposit diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak yang dikandungnya.

3.1.3 Hubungan Antara Fase Tanah

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori-pori udara dan air pori. Bagian-bagian dari tanah itu sendiri dapat kita gambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan gambar 3.1 berikut ini :



(a) **Gambar 3.1** Diagram fase tanah (b)

Gambar 3.1.a. memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W , sedangkan **Gambar 3.1.b.** memperlihatkan hubungan berat dan volumenya.

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w$$

dan $V = V_s + V_w + V_a$

$$V_v = V_w + V_a$$

Dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = Volume air

V_a = Volume udara.

Berat udara dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang biasa digunakan dalam mekanika tanah adalah angka pori, porositas, dan derajat kejenuhan. Adapun hubungannya adalah sebagai berikut:

Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Porositas (n), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.2)$$

Angka pori (e), didefinisikan sebagai perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Biasanya dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.3)$$

Berat volume tanah basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_v$ ($W_v =$ berat udara = 0). Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_u = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

Berat volume tanah kering (γ_d), adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

Berat volume butiran padat (γ_s), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

Berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4° C.

3.1.4 Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif

Apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering tersebut, maka tanah tersebut disebut *kohesif*. Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan didalam air, maka tanah ini disebut tidak *kohesif*.

3.1.5 Batas Konsistensi Tanah

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisnya, dimana plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh *A. Atterberg*, 1911 didasarkan kepada kadar air, yaitu:

1. Batas Cair/*Liquid Limit (LL)*

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis, dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan bersifat sebagai cairan kental (campuran tanah tanpa-air tanpa kuat geser yang dapat diukur).

2. Batas Plastis/*Plastic Limit (PI)*

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

3. Batas Susut / *Shrinkage Limit (SL)*

Batas susut (*SL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

Batas Susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot \frac{(V_1 - V_2)}{m_2} \gamma_w \times 100\% \quad (3.7)$$

Dengan:

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

m_2 = berat tanah kering dalam oven (gr)

V_1 = Volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

V_2 = Volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat isi air

4. Indeks Plastisitas (*IP*)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini

disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk.

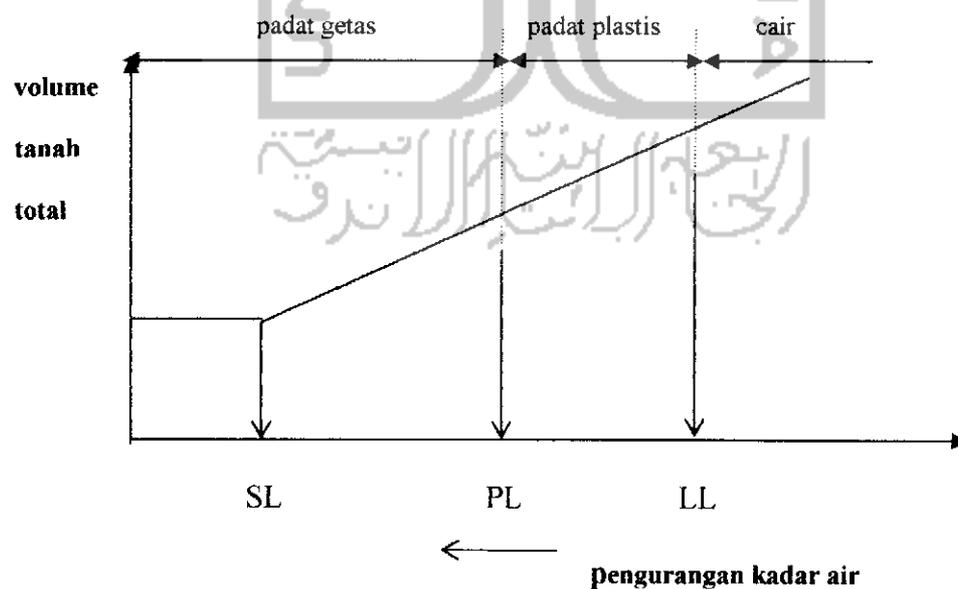
Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

INDEK PLASTISITAS	SIFAT	MACAM TANAH	KOHESI
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 sampai 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992

Sedangkan hubungan volume tanah total dengan kadar air tanah ditunjukkan oleh gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya

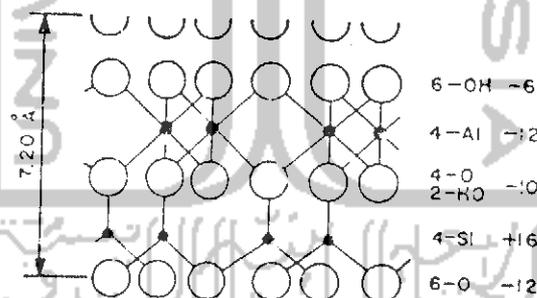
3.2 Tanah Lempung

3.2.1 Karakteristik Tanah Lempung

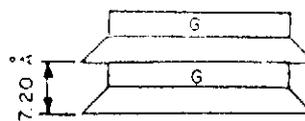
Tanah lempung atau dapat juga dikatakan sebagai tanah halus mengandung partikel-partikel yang berupa mineral lempung. Mineral lempung terdiri dari aluminium silikat, magnesium dan zat besi. Ada dua kristalin dasar yang membentuk mineral lempung yaitu : tetrahedron silikon-oksigen dan oktahedron aluminium. Sifat dari partikel-partikel lempung dapat diilustrasikan dengan menggambarkan tiga subkelompok umum dari mineral lempung yaitu:

a. Kaolinit

Mineral lempung kaolinit adalah suatu unit dasar dua lapis terbentuk dengan bertumpuknya lempeng gipsit pada lempeng silika seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3a dan secara simbolis terlihat dalam gambar 3.3b berikut ini.



(a)

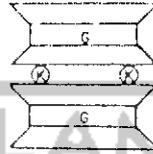


(b)

Gambar 3.3 Struktur dari kaolinit. (a) Struktur atom. (b) Struktur simbolis.
(Lambe dan Whitman, 1969)

b. Ilit

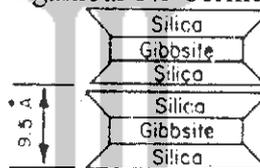
Ilit adalah suatu unit tiga lapis yang sangat stabil yang terdiri dari unit-unit dasar monmorilonit yang terikat oleh gaya bervalensi sekunder dan ion-ion potasium seperti ditunjukkan secara simbolis pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Struktur simbolis dari ilit (I.S.Dunn dkk, 1992)

c. Monmorilonit

Monmorilonit adalah suatu unit dasar tiga lapis terbentuk dengan menempatkan sebuah lempeng silika diatas dan sebuah di bawah dari lempeng gibsit seperti ditunjukkan secara simbolis dalam gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Struktur simbolis dari monmorilonit (I.S. Dunn dkk, 1992)

3.2.2 Jenis tanah lempung

Perilaku tanah lempung sangat dipengaruhi oleh sifat partikel-partikel lempung secara individual dan air pori. Tipikal tanah lempung secara alami jika dilihat dari porositas, angka pori dan berat unit dapat dilihat pada tabel 3.2. Porositas (n) adalah perbandingan antara volume pori dan volume total dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal. Angka pori (e) didefinisikan sebagai rasio antara volume pori dengan volume bahan padat yang selalu dinyatakan dalam suatu desimal. Berat unit (berat unit tiap unit volume) adalah berat tanah dibagi

dengan berat volumenya, dimana berat unit dari suatu massa tanah dapat dinyatakan dalam pengertian berat unit total (γ), berat unit kering (γ_d) dan berat unit basah (γ_b).

Tabel 3.2 Porositas, angka pori dan berat unit air dari tanah-tanah tipikal dalam keadaan alami (Peck dkk, 1974)

No	Deskripsi	Porositas	Angka pori	Kadar air	Berat Unit			
					KN/m ³		lb/cu ft	
					γ_d	γ_{sat}	γ_d	γ_{sat}
1	Pasir uniform, lepas	0.46	0.85	32	14.10	18.50	90	118
2	Pasir uniform, padat	0.34	0.51	19	17.10	20.40	109	130
3	Pasir berbutir campuran, lepas	0.40	0.67	25	15.60	19.50	99	124
4	Pasir berbutir campuran, padat	0.30	0.43	16	18.20	21.20	116	135
5	Lanau bawaan angin (lus)	0.50	0.99	21	13.40	18.20	85	116
6	Tanah glasial, berbutir sangat campuran	0.20	0.25	9	20.70	22.80	132	145
7	lempung glasial lunak	0.55	1.20	45	11.90	17.30	76	110
8	Lempung glasial kaku	0.37	0.60	22	16.70	20.30	106	129
9	Lempung agak organik lunak	0.66	1.90	70	9.10	15.40	58	98
10	Lempung sangat organik lunak	0.75	3.00	110	6.80	14.00	43	89
11	lempung monmorilinit lunak (calcium beritomite)	0.84	5.20	194	4.20	12.60	27	80

A_w = kadar air apabila jenuh, dalam persen terhadap berat jenis

Berat jenis adalah rasio antara berat unit suatu bahan dengan berat unit air (γ_w) pada temperature 4^o C. Dalam mekanika tanah, pada umumnya yang dimaksud dengan berat jenis adalah berat jenis zat padat dari partikel-partikel (G), dan didefinisikan sebagai rasio antara berat unit zat padat partikel dengan berat unit air $W_s/ (V_s \gamma_w)$. Nilai berat jenis dapat ditentukan dari pengujian laboratorium (ASTM D-854). Nilai-nilai berat jenis tipikal bagi beberapa unsur pokok tanah yang sangat penting dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Berat jenis beberapa unsur tanah (Peck dkk, 1974)

No	Unsur Tanah	Berat jenis	No	Unsur Tanah	Berat jenis
1	Gips	2.32	11	Dolomit	2.87
2	Monmorilonit	2.65-2.80	12	Aragonit	2.94
3	Orthoklas	2.56	13	Biotit	3.0-3.10
4	Kaolinit	2.60	14	Augit	3.2-3.4
5	Illit	2.80	15	hornblende	3.2-3.5
6	Chlorit	2.6-3.0	16	Limonit	3.80
7	Quartz	2.66	17	Hematit, hydrous	4.30
8	Talk	2.70	18	Magnetit	5.17
9	Calsit	2.72	19	Hematit	5.20
10	Muskovit	2.8-2.9			

Nilai kuat tekan bebas (q_u) untuk beberapa jenis tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4. Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) untuk jenis-jenis tanah lempung

No	Kondisi Tanah Lempung	q_u (kg/cm ²)
1	Lempung Keras	>4.00
2	lempung sangat kaku	2.00-4.00
3	Laempung kaku	1.00-2.00
4	Lempung sedang	0.500-1.00
5	Lempung lunak	0.25-0.50
6	lempung sangat lunak	<0.25

3.3 Stabilisasi Tanah

Tanah merupakan bahan bangunan pada berbagai pekerjaan teknik sipil, sehingga memerlukan standar persyaratan tertentu. Ada tiga kemungkinan kondisi tanah dijumpai dilokasi, yaitu :

- a. Kondisi tanah dilokasi cukup baik sehingga dapat dipakai secara langsung,
- b. Kondisi tanah dilokasi bangunan kualitasnya jelek, sehingga perlu diganti dengan tanah dari jenis lain yang lebih baik, dan
- c. Kondisi tanah dilokasi bangunan kualitasnya jelek, namun tidak perlu diganti tetapi tanah tersebut diperbaiki sifat-sifatnya sehingga persyaratannya terpenuhi.

Usaha untuk memperbaiki atau merubah sifat-sifat yang disebut dengan stabilisasi tanah dapat berupa penambahan atau penggantian material baru, pemadatan, penambahan bahan kimia, pemanasan, pendinginan, mengalirkan arus listrik dan lain-lain. Secara garis besar stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu: stabilisasi mekanik, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimia (Ingels dan Metcalf, 1977).

3.3.1 Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanik adalah suatu metoda untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan merubah struktur atau menambahkan jenis tanah lain yang tidak mempengaruhi sifat-sifat tanah itu sendiri. Cara ini dapat juga berupa pemadatan, penambahan atau penggantian dengan tanah lain, peledakan dengan alat peledak (*explosive*) dan tekanan statis. Alat-alat yang biasa digunakan pada stabilisasi mekanik khususnya untuk pemadatan adalah alat tumbuk, mesin gilas drum halus, pelat getar, mesin gilas ban angin dan mesin kaki domba.

3.3.2 Stabilisasi Fisik

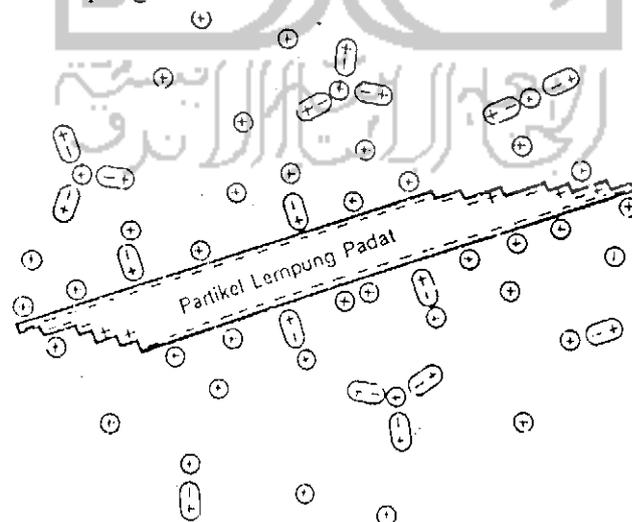
Stabilisasi fisik adalah perubahan sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*) dan menggunakan arus listrik (*electricity*). Salah satu jenis stabilisasi yang sering dipakai adalah pemanasan.

3.3.3 Stabilisasi Kimia

Stabilisasi kimia adalah stabilisasi dengan cara penambahan bahan kimia padat atau cair pada tanah sehingga mengakibatkan perubahan sifat-sifat dari tanah tersebut, misalnya mencampur tanah lempung dengan kapur, semen dan lain-lain. Hal ini dapat terjadi karena partikel lempung memiliki muatan negatif pada tepi

permukaannya dan muatan positif pada ujung-ujungnya yang menyebabkan partikel tanah lempung akan menyebar bila diberi air dan akan menggumpal bila air yang dikandung hilang atau berkurang (lihat gambar 3.6). Menurut ahli geoteknik, peristiwa menyebarnya tanah lempung tersebut dapat diatasi dengan menambahkan material yang mengandung unsur Mg^{++} , Al^{++} , Na^{++} , Ka^{++} yang dapat mengikat partikel-partikel lempung tersebut. Stabilisasi ini memanfaatkan reaksi kimia dengan tanah sehingga menjadi keras, caranya :

- Pertukaran ion, yaitu menukar reaksi ion butiran tanah.
- Pengendapan, yaitu dengan mencampur dua macam campuran (solusi) sehingga membentuk zat baru yang dapat menimbulkan pemadatan tanah atau stabilisasi tanah.
- Polimerisasi, yaitu pada kondisi-kondisi tertentu pencampuran beberapa zat sederhana, sehingga akan membentuk zat baru yang memiliki molekul lebih besar dan menimbulkan pengaruh stabilisasi.



- ⊕ Kation bermuatan positif
- ⊖ Molekul air polar
- Muatan negatif netto pada permukaan partikel

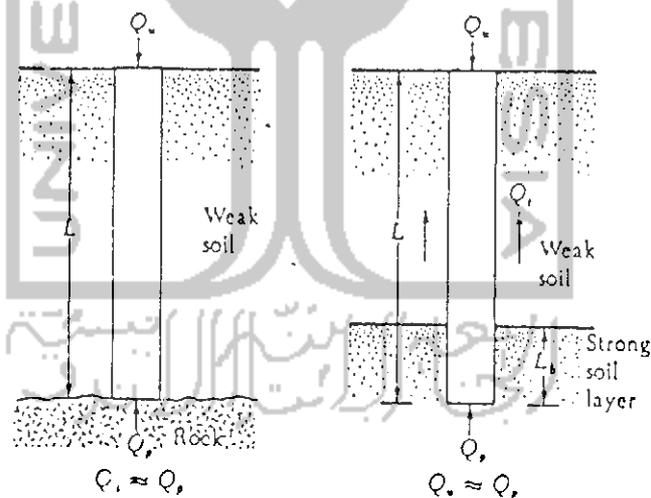
Gambar 3.6 Partikel lempung (I.S. Dunn dkk, 1992)

3.4 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.



Gambar 3.7 Point Bearing (*End Bearing*) Piles

Tahanan tiang ultimate dinyatakan dalam :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana : Q_u = tahanan ultimate

Q_p = tahanan ujung tiang

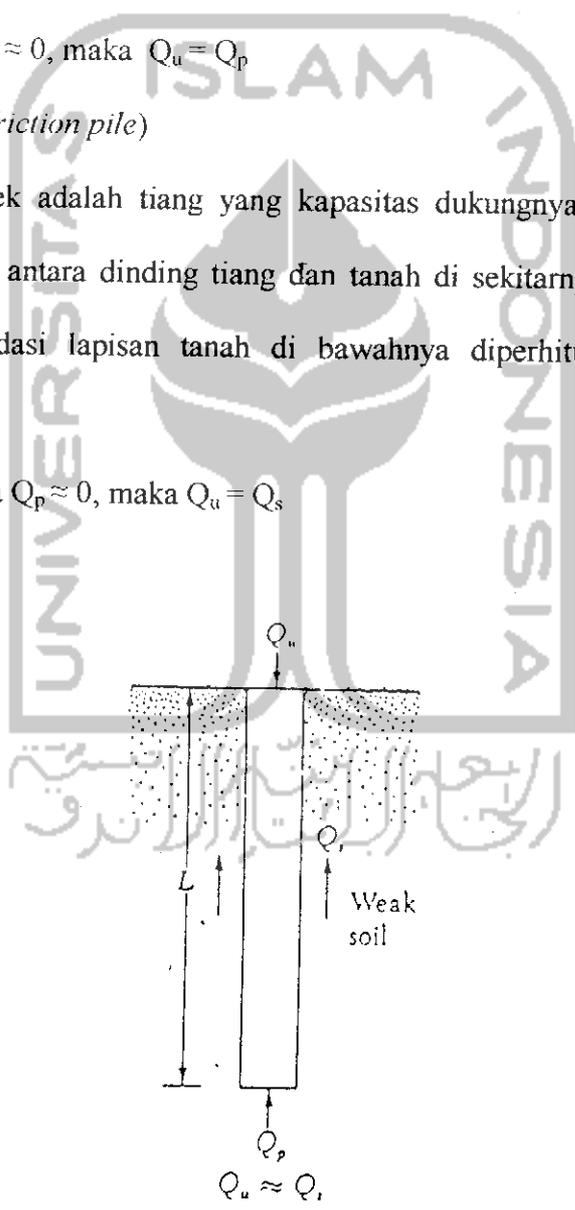
Q_s = tahanan gesek selimut karena gesekan dengan tanah

Jika $Q_s \approx 0$, maka $Q_u = Q_p$

2. Tiang gesek (*friction pile*)

Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.

Jika $Q_p \approx 0$, maka $Q_u = Q_s$



Gambar 3.8 Friction Piles

3.5 Mekanisme Transfer Beban

Tahanan ujung (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 10-25 % dari lebar atau diameter tiang.....*B.M. Das*
- 10-20 % dari lebar atau diameter tiang.....*Tomlinson*

Tahanan friksi (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 5-10 mm (0,2-0,3 in)*B.M.Das*
- 0,3-1 % dari lebar atau diameter tiang.....*Tomlinson*

3.6 Daya Dukung Tiang

Tiang pancang dapat dibagi dalam dua kategori utama menurut metode pemasangannya. Kategori pertama berupa tiang pancang yang terbuat dari baja atau beton pracetak dan tiang pancang yang terbuat dari baja atau beton pracetak dan tiang pancang yang dibentuk dengan memancangkan tabung atau kulit (*shell*) yang dipasang sepatu pancang (*driving shoe*) dimana tabung atau kulit tersebut lalu diisi dengan adukan beton setelah dipancang. Kategori kedua terdiri dari tiang pancang yang dipasang tanpa terjadi perpindahan tanah. Tanah disingkirkan dengan membor atau menggali untuk membentuk suatu cerobong (*shaft*), kemudian adukan beton dicor kedalam cerobong tersebut untuk membentuk tiang pancang. Cerobong tersebut dapat dilapisi selubung (*cased*) atau tanpa selubung (*uncased*) tergantung pada tipe tanah. Pada lempung, cerobong tadi akan membesar pada dasarnya oleh suatu proses yang dikenal dengan pergerakan dasar lubang (*under-reaming*).

3.6.1 Tiang Pancang Pada Tanah Lempung

Dalam hal tiang pancang yang dipancangkan pada lempung disekitar tiang pancang tersebut dipindahkan baik kearah lateral maupun vertikal. Perpindahan lempung ke atas menghasilkan pengangkatan (*heaving*) pada permukaan tanah disekitar tiang pancang dan dapat menyebabkan suatu reduksi daya dukung tiang pancang yang telah dipasang disekitarnya. Lempung di zona terganggu disekeliling tiang pancang mengalami pembentukan kembali (*remoulding*) selama proses pemancangan. Tekanan air pori berlebihan yang terbentuk akibat tegangan-tegangan pemancangan akan hilang dalam beberapa bulan karena zona terganggu relatif sempit. Umumnya kehilangan tersebut terlihat telah selesai sebelum beban struktural yang penting dikerjakan pada tiang pancang. Kehilangan disertai dengan kenaikan kekuatan geser pada lempung yang terbentuk kembali dan juga kenaikan friksi kulit yang bersesuaian. Jadi friksi kulit pada akhir kehilangan lazimnya cukup memadai dalam desain.

3.6.2 Kelompok Tiang

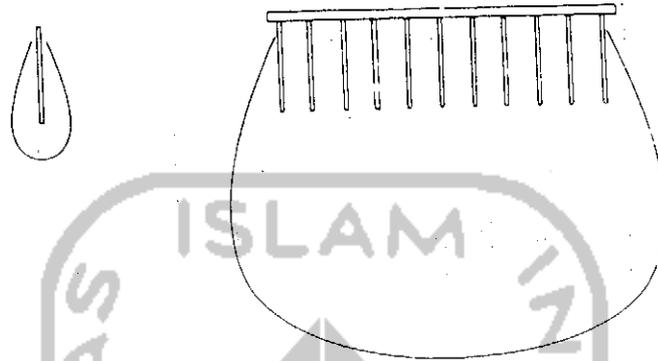
Pembahasan diatas hanya berlaku untuk tiang pancang tunggal. Dalam keadaan sebenarnya tidak pernah dijumpai penggunaan tiang secara tunggal, tetapi merupakan kombinasi sebagai kelompok-kelompok atau grup. Selalu terjadi perubahan kondisi tegangan akibat perubahan konsistensi dan kerapatan karena pengaruh pemancangan tiang sebelumnya. Hal ini juga akan menimbulkan pengaruh terhadap perilaku tiang tidak hanya selama perancangan tetapi juga selama tiang tersebut mendukung beban yang akan diberikan. Perilaku kelompok tiang secara

langsung tidak dapat dianggap sama dengan perilaku tiang tunggal meski menahan beban yang sama tiap tiang dan dalam lokasi yang sama.

Hal penting adalah kontribusi dukungan dari gesekan kulit dan ujung tiang yang mencapai lapisan tanah keras. Jika tiang tunggal dibebani misal dalam pengujian pembebanan sebagian besar daya dukungnya berasal dari tanah sepanjang tiang melalui gesekan kulit, meski tanah cukup lunak dan kompresibel. Jika beberapa tiang saling berdekatan sehingga tanah sekeliling akan mendukung tiang, tegangan diberikan pada seluruh blok tanah dimana kelompok tiang tersebut dipancang, perlahan-lahan akan cenderung menekan tanah, dan tiang akan turun sedikit, saat sebagian besar beban dipindahkan secara langsung oleh tiang ke lapisan tanah keras. Pada kelompok tiang yang besar, sebagian besar beban cepat atau lambat akan didukung oleh dukungan ujung tiang, dengan mengabaikan gesekan kulit yang terjadi pada pengujian pembebanan tunggal. Pada kondisi tanah yang berbeda, akan timbul perbedaan lain mengenai perilaku tiang tunggal dan kelompok tiang.

Pada lempung, tiang-tiang di sekeliling pusat akan memikul beban yang lebih besar dari tiang di pusat kelompok. Umumnya dapat diasumsikan bahwa semua tiang dalam satu kelompok akan turun dengan nilai yang sama, akibat kekakuan kepala tiang. Penurunan sekelompok tiang selalu lebih besar dari penurunan sebuah tiang yang bersesuaian, sebagai akibat dari tumpang tindihnya zona-zona pengaruh masing-masing tiang dalam kelompok tersebut. Bidang runtuh sebuah tiang tunggal dan sekelompok tiang (dengan panjang yang sama dengan tiang tunggal) dapat dilihat pada gambar 3.9. Tegangan-tegangan yang sangat berarti yang terbentuk pada sekelompok tiang jauh lebih luas daripada tiang tunggal yang bersesuaian. Rasio

penurunan sebuah kelompok tiang didefinisikan sebagai rasio penurunan kelompok tersebut terhadap penurunan tunggal pada saat keduanya memikul beban ultimit yang sama.

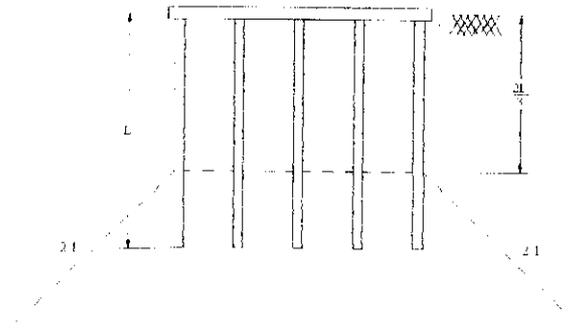


Gambar 3.9. Bidang runtuh untuk sebuah tiang pancang dan sekelompok tiang pancang (Craig RF, 1989)

Penurunan sebuah kelompok tiang pada lempung dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa beban total dipikul oleh sebuah “rakit ekivalen” (*equivalent raft*) yang ditempatkan pada kedalaman $2/3 L$, dimana L adalah panjang tiang. Dapat diasumsikan, seperti terlihat pada gambar 3.10. Bahwa beban disebarakan dari keliling kelompok tiang dengan kemiringan horizontal 1 terhadap vertikal 4 untuk membiarkan sebagian beban disalurkan ke tanah oleh friksi kulit. Kenaikan tegangan vertikal pada sembarang kedalaman di bawah rakit ekivalen dapat dihitung dengan kembali mengasumsikan bahwa beban total disebarakan pada tanah-tanah yang melapisi di bawahnya dengan kemiringan horisontal 1 terhadap vertikal 2.

Penghitungan penurunan untuk beberapa macam tiang mengambil titik acuan yang berbeda-beda yaitu :

- Tiang friksi, penurunannya dihitung mulai kedalaman $2/3 L$.
- Tiang tahanan ujung, penurunannya dihitung mulai kedalaman L .
- Tiang gabungan, penurunannya dihitung mulai kedalaman $2/3 L-L$.



Gambar 3.10. Konsep rakit ekivalen (Craig R.F, 1989)

Keuntungan kelompok tiang :

1. Dapat menahan beban yang besar
2. Mengatasi eksentrisitas tiang tunggal yang mungkin terjadi
3. Kegagalan sebuah tiang dapat diminimalisasi
4. Kapasitas kelompok dapat lebih tinggi dari jumlah tiang tunggal

Settlement (penurunan) pada suatu tanah lempung dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta s = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \dots \dots \dots (3.9)$$

Δs = *settlement* yang terjadi

C_c = *compression index*, didapat dari uji konsolidasi

e_0 = *initial void ratio* (angka pori awal)

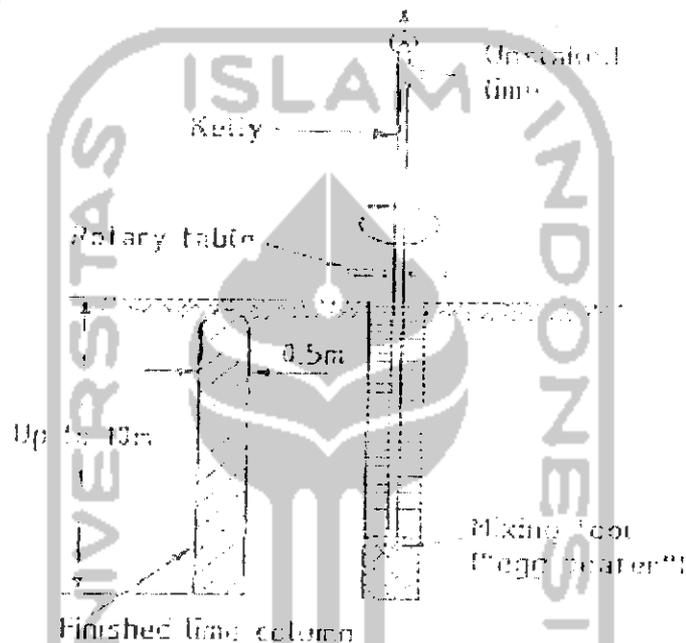
H = tinggi lapisan lempung

ΔP = tegangan yang terjadi ditengah lapisan lempung

P_o = tegangan vertikal efektif ditengah lapisan lempung

3.7 Kolom Kapur

Istilah “kolom kapur” mengacu pada sebuah bentuk kolom vertikal dalam material stabilisasi tanah. Prinsip umum teknik ini adalah untuk menciptakan, in situ, kolom dari campuran tanah lempung dan kapur. Kolom dibangun menggunakan alat “egg-beater” raksasa, seperti ditunjukkan oleh gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11. Prosedur untuk konstruksi kolom kapur

Kapur yang biasa digunakan adalah kapur hidrat (*kalsium hidroksida*) dan kapur api (*quick lime*), walaupun kapur api biasanya lebih disukai dalam kaitannya dengan efek hidrasi.

Reaksi lempung dan kapur berlangsung menghasilkan kolom dengan kekuatan lebih besar dan meningkatnya permeabilitas dibandingkan tanah yang tidak mendapatkan perlakuan serupa. Didalam desain, penekanannya adalah pada proses stabilisasi fisik dan propertis tanah lempung yang diperlukan untuk menghasilkan stabilisasi yang efektif.

Broms dan Boman (1975) memberi suatu pengenalan kepada penggunaan dan konstruksi kolom kapur, suatu studi tentang aplikasi dan metode desain yang lengkap diterbitkan oleh Broms pada tahun 1983.

Aplikasi telah didasarkan pada peningkatan daya dukung, kekuatan geser dan permeabilitas. Ini meliputi, sangat utama, pondasi, dengan metode-metode desain yang telah dibentuk dengan pertimbangan kekuatan kolom dan interaksi kolom dengan tanah.

Broms (1985) mengenalkan informasi pada penggunaan kolom kapur dalam stabilisasi lereng. Ini telah dicatat bahwa tekanan air pori yang tinggi yang diproduksi oleh teknik tiang pancang tradisional telah dikurangi pada kasus kolom kapur dalam kaitan dengan afinitas *quicklime* untuk air. Perancangan pemasangan tiang pancang telah dikembangkan dengan mempertimbangkan kekuatan geser rata-rata (c_{av}) sepanjang suatu kegagalan rencana potensial

$$c_{av} = c_u (1 - a) + s_{col} a$$

c_u adalah kuat geser awal kekuatan tanah (ditemukan pada test baling-baling geser), s_{col} adalah kuat geser tanah rata-rata kekuatan tanah lempung yang di stabilisasi di dalam kolom dan dalam area kolom yang relatif, perbandingan total area kolom dan area tanah yang distabilisasi tersebut.

Walaupun telah dipelopori di Skandinavia, kolom kapur telah juga digunakan di beberapa negara lain seperti Perancis di mana teknik ini telah diadopsi khususnya untuk stabilisasi tanggul jalan kereta api. Jepang juga telah mengembangkan "metode campuran dalam" untuk menggunakan kapur (Terasai et

Al, 1979). Aplikasinya dilaporkan meliputi stabilitas lereng, tetapi tidak ada detail yang diberikan.

Aplikasi kolom kapur pada tanah Inggris telah diselidiki oleh Corbet (1988), Corbet mencoba mengaplikasikannya untuk digunakan di Inggris. Kolom kapur telah ditaksir sebagai alat stabilisasi tanah lunak dasar di bawah tanggul, format stabilisasi lain dipertimbangkan mencakup drainase, penggantian *vibro*, kolom batu, geofabrik dan tiang pancang konvensional.

Kolom kapur telah dilihat sebagai suatu alternatif untuk kolom batu tetapi telah diakui tak cocok untuk aplikasi yang diperlukan dalam kaitan dengan inkonsistensi kekuatan yang diperoleh dan lebih rendah dari permeabilitas diharapkan didapat dari percobaan laboratorium. Hal yang penting pada kesuksesan mereka adalah pertimbangan kesatuan dan efektivitas dalam pencampuran, kadar air tanah lempung untuk diatur dalam hubungan dengan kebutuhan air (volume ditambahkan yang relatif besar) dari kapur, dan sebagai konsekuensi apakah kapur hidrat dan kapur api bisa dipergunakan. Keputusan seperti itu akan dengan jelas tergantung pada aplikasi yang dipertimbangkan dan kondisi awal tanah tersebut.

3.8 Macam-macam kapur

3.8.1 Kapur Api (*quick lime*)

Kapur api (*quick lime*) secara kimia disebut kalsium oksida (CaO) didapat dari pemanasan batu kapur (CaCO_3) untuk mengeluarkan karbon dioksida. Kapur api sangat murah jika dibandingkan dengan hidrat kapur (*hydrated lime*).

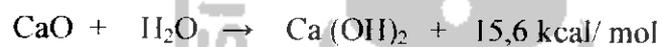
3.8.2 Kapur Hidrat (*hydrated lime*)

Kapur hidrat (*hydrated lime*) secara kimia disebut Ca(OH)_2 merupakan hasil reaksi kimia dari kalsium oksida dengan air ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) yang merupakan serbuk yang baik.

3.9 Reaksi Tanah-Kapur

3.9.1 Absorpsi air, reaksi eksotermis dan reaksi ekspansif

Bila kapur dicampurkan pada tanah, maka pada tanah yang ada kandungan airnya, akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Melalui reaksi kimia ini 0,121 kg air bereaksi dengan 1.0 kg kapur dan menimbulkan panas sebesar 278 kcal. Pada saat bersamaan, volume kapur menjadi kira-kira 2 kali lebih besar dari volume asal sehingga berakibat : turunnya kandungan air didalam tanah tersebut.

3.9.2 Reaksi pertukaran ion

Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif, seperti ion Hidrogen (H^+), ion Sodium (Na^+), ion Kalsium (K^+) serta air yang berpolarisasi, semuanya melekat pada permukaan butiran-butiran lempung tadi. Jika kapur ditambahkan pada tanah dengan kondisi seperti diatas, maka pertukaran ion segera terjadi, dan ion sodium yang berasal dari larutan kapur diserap oleh permukaan butiran lempung. Jadi, permukaan butiran lempung tadi kehilangan kekuatan tolaknya (*repulsion force*), dan terjadilah kohesi daripada butiran itu sehingga berakibat kenaikan kekuatan konsistensi tanah tersebut.

3.9.3 Reaksi pozzolanik

Perubahan kekuatan tanah akibat *curing time* disebabkan oleh reaksi *pozzolanic*. Reaksi *pozzolanic* adalah peningkatan kekuatan tanah dan *lime column* akibat bertambahnya umur sampel benda uji. Dengan bertambahnya waktu, maka Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3) yang terkandung didalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan bereaksi dengan kapur dan akan membentuk Kalsium silikat hidrat seperti : tobermorite, kalsium aluminat hidrat seperti : $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 12\text{H}_2\text{O}$ dan Gehlenite hidrat $2\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, 6\text{H}_2\text{O}$. Pembentukan senyawa – senyawa kimia ini terus-menerus berlangsung untuk waktu yang lama, dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, kuat dan awet., karena senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai *binder* (pengikat).

Urutan – urutan reaksi yang terjadi pada campuran tanah lempung dengan kapur :



Tergantung daripada jenis mineral lempung, sifat reaktif dari tanah berbeda-beda. Tanah dengan kadar lempung yang rendah, tanah dengan kandungan mineral lempung dengan kadar reaktif rendah tidak sesuai dengan stabilisasi dengan kapur. Stabilisasi dengan kapur tidak dapat menghasilkan kekuatan yang diharapkan pada masa-masa awal.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan yang Digunakan

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

1. Kapur

Digunakan hidrat kapur (*hydrated lime*) yang secara kimia disebut Ca(OH)_2 yang merupakan hasil reaksi kimia dari kalsium oksida dengan air ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) yang berupa serbuk.

2. Lempung lunak (*soft clay*)

Lempung diambil dari Salaman, Jawa Tengah, yang dibuat (*remolded*). Dengan syarat nilai kuat tekan bebasnya (q_u) antara 0.25 kg/cm^2 - 0.50 kg/cm^2

3. Air

Air diambil dari PDAM yang ada pada Laboratorium Mekanika Tanah FTSP, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

4.2 Data yang diperlukan

1. Kadar air (w), dalam persen (%)
2. Berat jenis (G_s)
3. Batas cair (LL), dalam persen (%)

4. Batas Plastis (*PL*), dalam persen (%)
5. Indeks Plastis (*IP*), dalam persen (%)

4.3 Metode Pengujian

Tanah yang akan distabilisasi memerlukan pengujian-pengujian yang akan dapat menentukan sesuai tidaknya jenis stabilisator tersebut, rasio stabilisator yang optimum dan efisien pada tanah bersangkutan. Jenis pengujian ini biasanya dilakukan di laboratorium, sedangkan untuk kasus-kasus tertentu pengujian dilakukan dilapangan.

Pengujian yang dilakukan di laboratorium dibagi menjadi dua, yakni pengujian sifat fisik tanah dan pengujian sifat mekanik tanah.

4.3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan agar dapat diketahui karakteristik awal dari tanah sebelum dilakukan perubahan, karena tanah lempung yang dipakai dibuat (*remolded*). Pengujian ini terdiri dari :

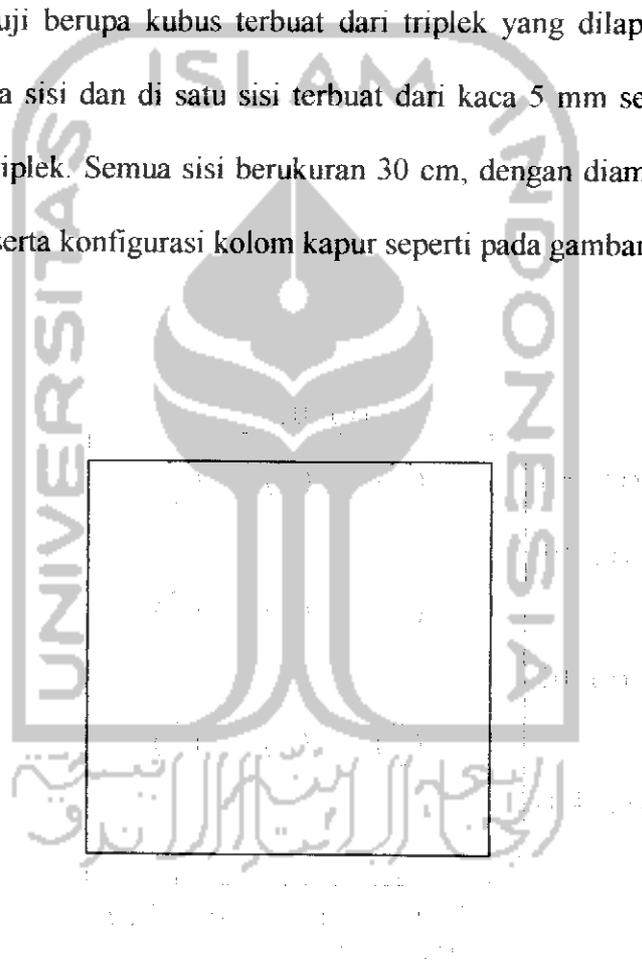
- Pengujian kadar air tanah (ASTM D 2216-71)
- Pengujian berat jenis tanah (ASTM D 854-72)
- Pengujian batas susut tanah (ASTM D 427-74)
- Pengujian batas cair tanah (ASTM D 423-66)
- Pengujian batas plastis tanah (ASTM D 424-74)
- Analisis hidrometer (ASTM D 421-72)
- Analisis saringan (ASTM D 422-72)

4.3.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

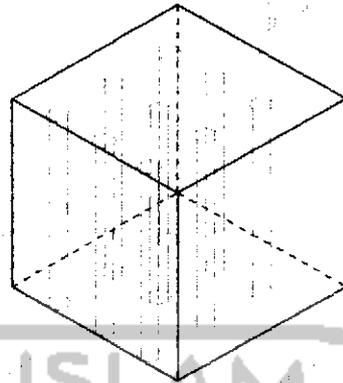
Pengujian sifat mekanik tanah yang dilakukan adalah pengujian “pembebanan” terhadap tanah yang menggunakan kolom kapur (*lime column*).

4.4 Pemodelan Benda Uji

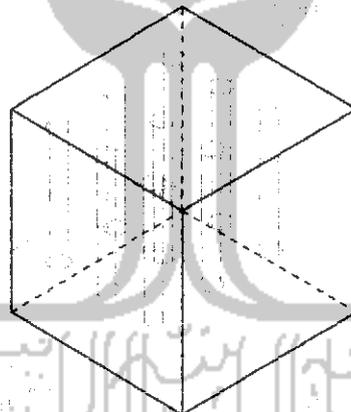
Benda uji berupa kubus terbuat dari triplek yang dilapisi kayu dibagian luarnya pada ketiga sisi dan di satu sisi terbuat dari kaca 5 mm serta bagian bawah juga terbuat dari triplek. Semua sisi berukuran 30 cm, dengan diameter kolom kapur berukuran 32 mm serta konfigurasi kolom kapur seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Bentuk konfigurasi segi empat



Gambar 4.2 Lime column dengan tinggi 30cm (sampai dasar benda uji / end bearing)



Gambar 4.3 Lime column 2/3 tinggi benda uji (20 cm)

4.5 Variasi sampel

Benda uji untuk masing-masing sampel yang akan diuji sebagai berikut :

- ◆ Sampel dengan *lime column* mencapai dasar benda uji (30 cm) adalah :
 - a. Sampel *lime column* dengan campuran 0 %
 - b. Sampel *lime column* dengan campuran 8 %
 - c. Sampel *lime column* dengan campuran 12 %
 - d. Sampel *lime column* dengan campuran 20 %
 - e. Sampel *lime column* dengan campuran 100 %
- ◆ Sampel dengan *lime column* 2/3 benda uji (20 cm) adalah :
 - a. Sampel *lime column* dengan campuran kapur 0 %
 - b. Sampel *lime column* dengan campuran kapur 8 %
 - c. Sampel *lime column* dengan campuran kapur 12 %
 - d. Sampel *lime column* dengan campuran kapur 20 %
 - e. Sampel *lime column* dengan campuran kapur 100 %

Jumlah sampel yang dibuat masing-masing prosentase dibuat sebanyak 4 sampel yaitu :

- 1). 1 sampel untuk konfigurasi segiempat dengan tinggi kolom kapur 30 cm di uji pada 0 jam.
- 2). 1 sampel untuk konfigurasi segiempat dengan tinggi kolom kapur 30 cm di uji pada 48 jam.
- 3). 1 sampel untuk konfigurasi segiempat dengan tinggi kolom kapur 20 cm di uji pada 0 jam.

- 4). 1 sampel untuk konfigurasi segiempat dengan tinggi kolom kapur 20 cm di uji pada 48 jam.

4.6 Teknik Pencampuran

Lempung lunak yang dibuat (*remolded*), dilakukan penambahan air terlebih dahulu agar mencapai kadar air yang diinginkan, yaitu 50 % (konstan). Pencampuran kolom kapur dilakukan dengan prosentase terhadap berat jenis. Pencampuran dilakukan pada saat tanah dan kapur dalam keadaan kering, sehingga diharapkan tanah dengan kapur dapat tercampur dengan merata, baru kemudian dilakukan penambahan air hingga mencapai kadar air yang diinginkan.

Kemudian tanah dimasukkan kedalam benda uji yang berbentuk kubus, tanah lempung lunak yang terletak disamping dimasukkan terlebih dahulu sedikit demi sedikit sambil di padatkan dengan bagian tengah tempat konfigurasi yang akan diberi kolom kapur dimasukkan besi terlebih dahulu sesuai dengan diameter yang telah ditentukan, kemudian setelah tanah penuh permukaannya diratakan.

Setelah tanah rata kolom kapur yang sudah dicampurkan diluar tadi dimasukkan kedalam lubang sedikit demi sedikit sambil dipadatkan sampai penuh dan permukaannya diratakan juga.

Pembuatan tanah lempung lunak :

Tanah lempung kering ditambah air agar dicapai kadar air yang diinginkan:

$$\text{Penambahan kadar air dalam } C_c = W_k \times \left\{ \frac{100 + B}{100 + A} - 1 \right\}$$

(Panduan Praktikum Mekanika Tanah FTSP UII, 2000)

Dengan: W_k = berat tanah kering (gram)

B = kadar air rencana (%)

A = kadar air tanah asli (%)

Pembuatan kolom kapur (*lime column*) N % :

Dibuat berdasarkan prosentase yang diinginkan :

$$\gamma_b = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s}{V} + \frac{W_w}{V}$$

$$\gamma_b = \gamma_d + \frac{W_w}{V} \cdot \frac{W_s}{W_s}$$

$$\gamma_b = \gamma_d + \frac{w \times W_s}{V}$$

$$\gamma_b = \gamma_d + (w \times \gamma_d)$$

$$\gamma_b = \gamma_d(1 + w)$$

$$\frac{W_b}{V} = \frac{W_k}{V}(1 + w)$$

$$W_k = \frac{W_b}{w + 1}$$

(Craig. R. F., 1989)

dengan : W_b = berat tanah basah (gram)

w = kadar air (%)

W_k = berat tanah kering (gram)

V = volume (cm^3)

W_w = berat air (gram)

W_s = berat solid (gram)

γ_b = berat volume tanah basah (g/cm^3)

γ_d = berat volume tanah kering (g/cm^3)



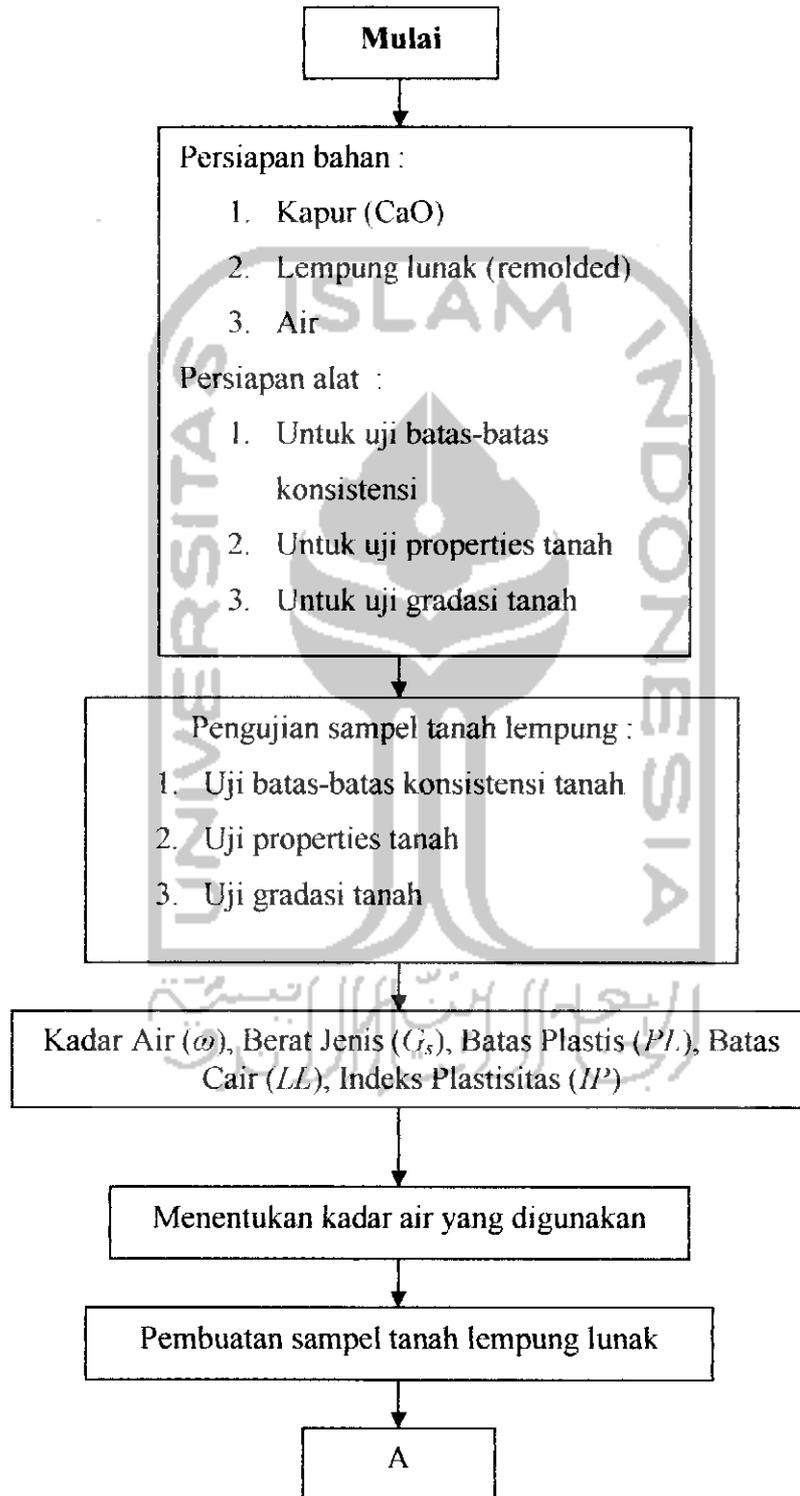
4.7 Teknik Pengujian

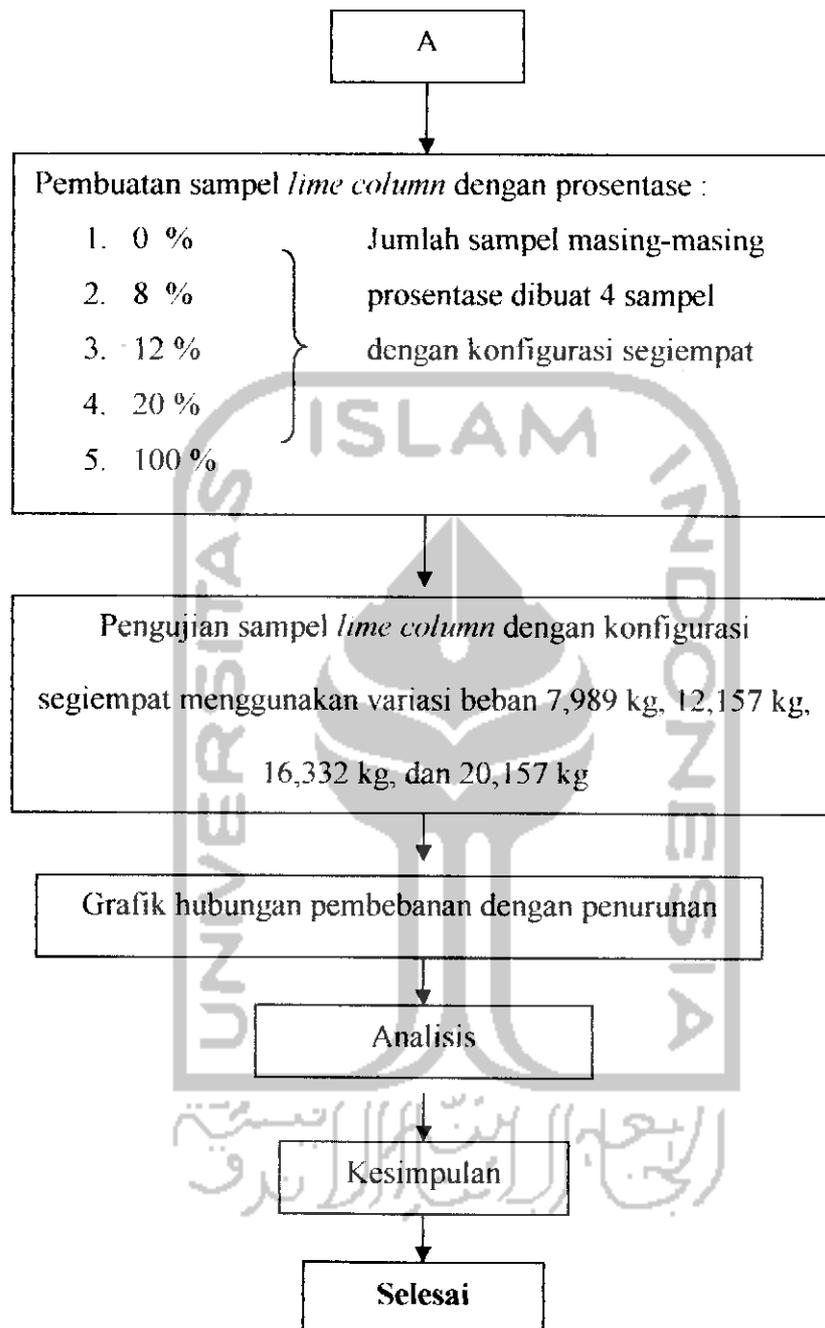
Benda uji yang telah mengalami proses pencampuran, yang terdiri atas tanah lempung lunak dan kolom kapur siap untuk dilakukan pengujian terhadap pembebanan. Adapun prosedur pelaksanaan pengujian pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan untuk pengujian seperti dial, beban-beban, penutup kayu dan stopwatch.
2. Letakkan kayu diatas benda uji yang berfungsi sebagai penutup dan sekaligus membantu dalam pendistribusian beban agar lebih merata.
3. Pasang dial diatas kayu penutup kayu untuk mengukur penurunan yang terjadi pada benda uji.
4. Kemudian benda uji diberi beban yang dimulai dengan beban yang terkecil terlebih dahulu, penambahan beban dilakukan setiap 30 menit. Total waktu pembebanan adalah selama 2 jam. Pemberian beban dilakukan secara bertumpuk, adapun variasi beban yang digunakan adalah 7989 gram, 12157 gram, 16332 gram, dan 20157 gram. Usahakan beban diletakkan tepat ditengah-tengah benda uji agar pendistribusian beban merata.
5. Selama pembebanan dilakukan pencatatan terhadap besarnya penurunan yang terjadi.

Semua uji yang dilaksanakan pada penelitian ini untuk setiap sampel dengan prosentase berat kapur dan konfigurasi kapur tertentu dilakukan pada 0 jam (segera setelah dibuat sampel langsung di uji) dan 48 jam setelah sampel dibuat.

4.8 Sistematika Penelitian





Gambar 4.4 Urut-urutan pelaksanaan



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

BAB V

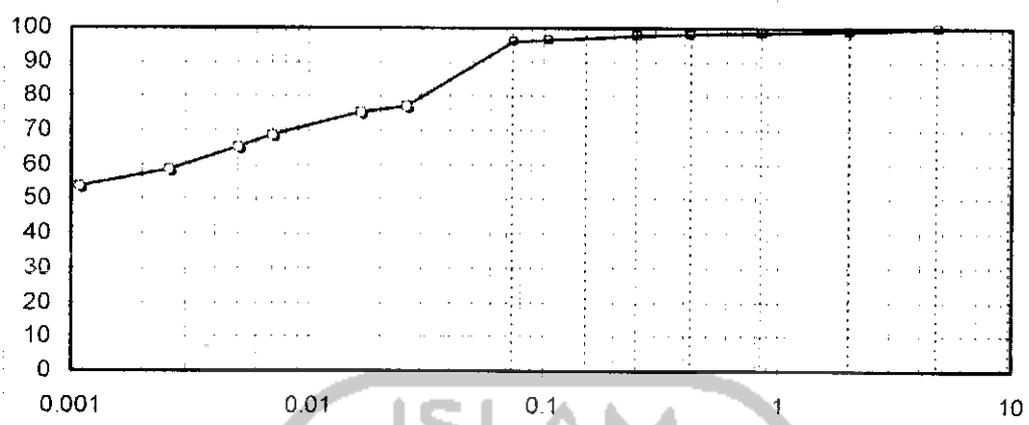
HASIL PENELITIAN

5.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah Lempung

Pengujian sifat fisik tanah ini terbagi menjadi dua yaitu pengujian sifat-sifat umum meliputi kadar air dan berat jenis, dan yang kedua pengujian sifat-sifat indeks tanah yang meliputi batas-batas konsistensi tanah (batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas) dan analisis granuler. Hasil pengujian tanah asli diperoleh kadar air 55,275 %. Hasil pengujian sifat umum dan indeks tanah lempung dari Salaman dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Data sifat fisik dan indeks tanah lempung Salaman

No	Sifat Fisik Tanah	Satuan	Lempung
1	Kadar Air (w)	%	55.275
2	Berat Jenis (Gs)		2.663
3	Batas Cair (LL)	%	76.18
4	Batas Plastis (PL)	%	48.75
5	Indeks Plastis (IP)	%	27.43
6	Kuat Tekan Bebas (qu)	(kg/cm ²)	0.4999
7	Kohesi (c)	(kg/cm ²)	0.214



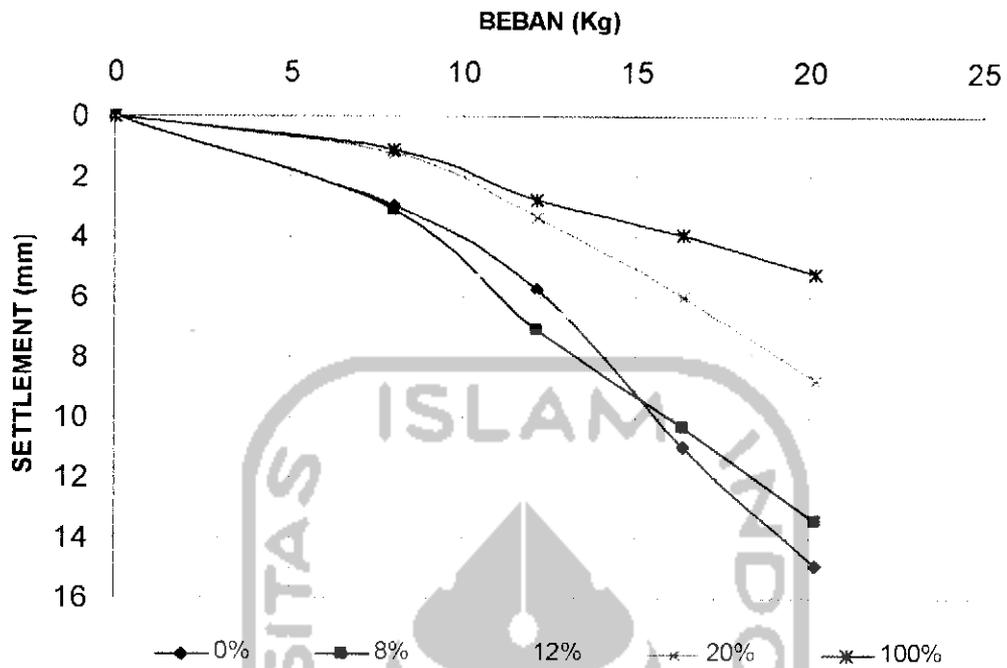
Gambar 5.1. Grafik Analisis Butiran Tanah

Hasil pengujian analisis granuler dapat dilihat dilampiran 9 dengan menggunakan rumus : % berat lebih kecil - % yang lolos saringan, maka diperoleh

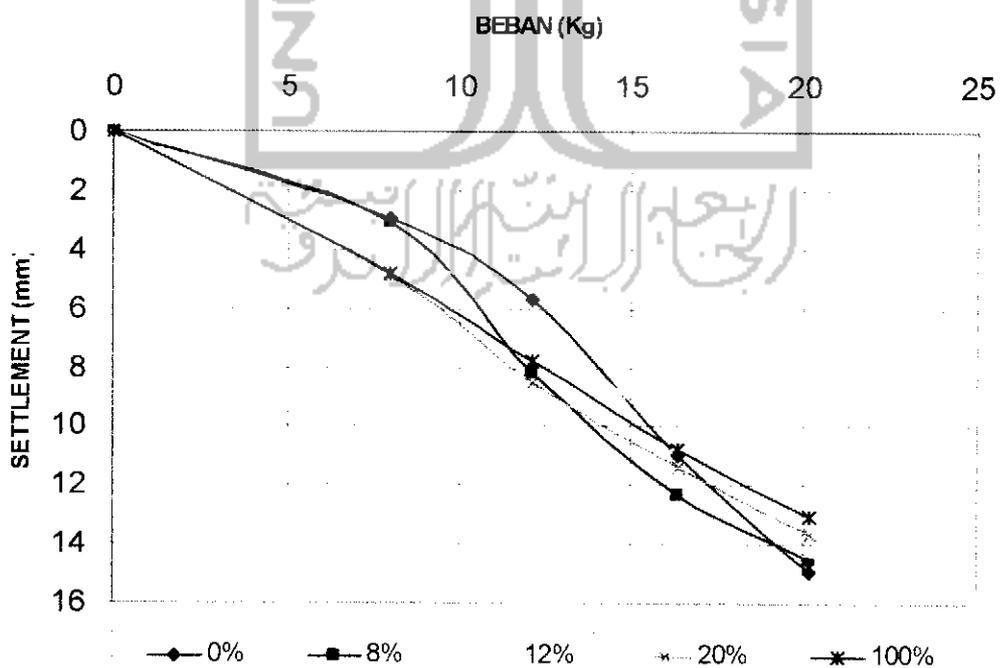
% pasir	= 100 - 96,03 = 3,97 %
% lanau	= 96,03 - 57,25 = 38,78 %
% lempung	= 57,25 - 0 = 57,25 %

5.2. Hasil Uji Pembebanan

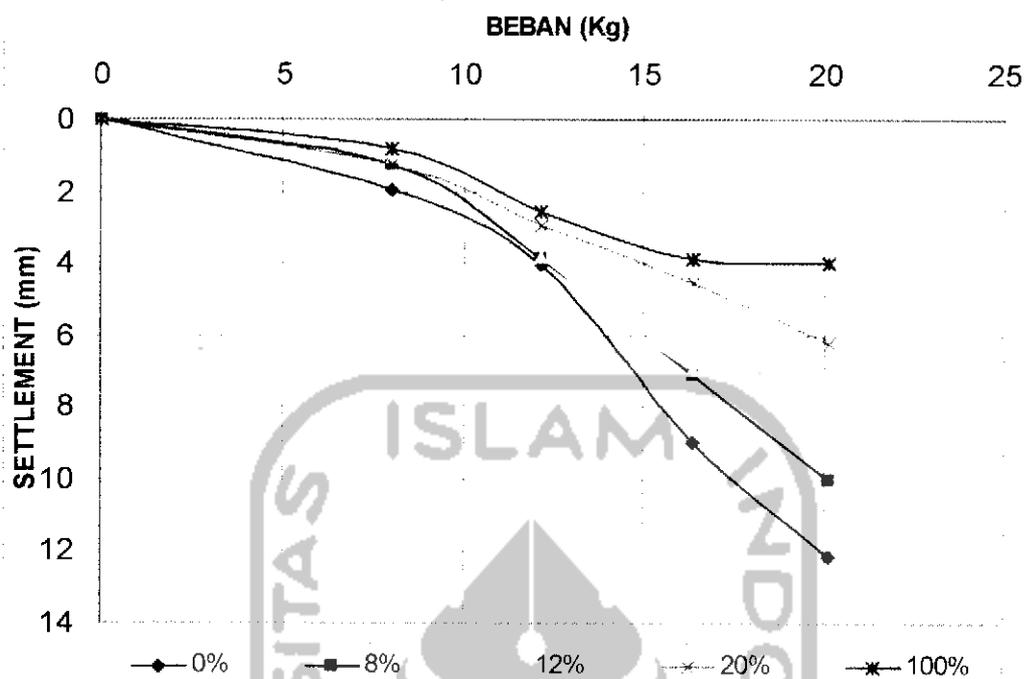
Pengujian pembebanan tanah lempung dengan menggunakan *lime column* sebagai bahan stabilisasi dengan prosentase kapur sebesar 0%, 8%, 12%, 20% dan 100% pada waktu pengujian 0 jam dan 48 jam. Konfigurasi *lime column* yang digunakan adalah konfigurasi segi empat. Hasil uji tanah dengan menggunakan *lime column* dapat dilihat pada grafik 5.2 sampai 5.5 berikut ini.



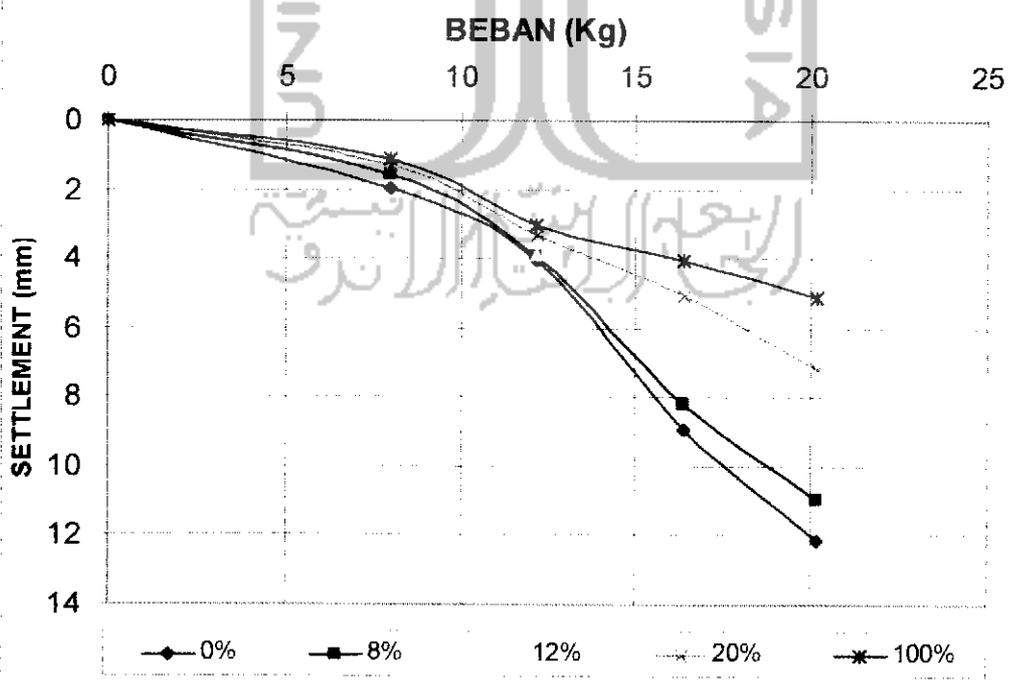
Gambar 5.2 Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (*lime column*) 30 cm dengan waktu peram (*curing time*) 0 jam



Gambar 5.3 Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (*lime column*) 20 cm dengan waktu peram (*curing time*) 0 jam

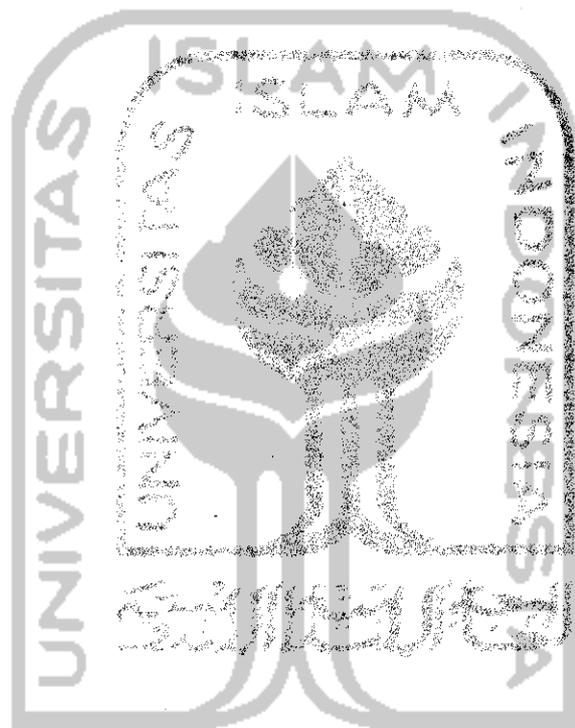


Gambar 5.4 Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (*lime column*) 30 cm dengan waktu peram (*curing time*) 48 jam



Gambar 5.5 Grafik penurunan untuk tinggi kolom kapur (*lime column*) 20 cm dengan waktu peram (*curing time*) 48 jam





الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

BAB VI

ANALISIS HASIL PENELITIAN

Bab ini akan membahas karakteristik dari lempung Salaman, Magelang, Jawa Tengah berdasarkan dari hasil penelitian laboratorium. Selain itu akan dibahas pengaruh tanah yang telah distabilisasi dengan menggunakan kolom kapur (*lime column*) terhadap sifat-sifat tanah lempung.

6.1 Sifat-Sifat Tanah Asli

Dari hasil penelitian tanah lempung Salaman pada Tabel 5.1 dapat disimpulkan beberapa karakteristik tanah lempung Salaman sebagai berikut.

Berdasarkan tabel 3.4 dengan nilai kuat tekan bebas (q_u) sampel tanah *undisturb* sebesar 0.4999 kg/cm^2 (lampiran 4), maka tanah lempung Salaman termasuk tanah lempung lunak (*soft clay*).

Berdasarkan plastisitasnya, dengan $IP = 27.43 \%$, maka lempung Salaman menurut *Atterberg* (tabel 3.1) tergolong tanah berplastisitas tinggi dan bersifat kohesif. Menurut klasifikasi *Unified* (lampiran 2a dan 2b) lempung Salaman termasuk kelompok (OH) yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

Menurut hasil analisis granuler (lampiran 9), maka tanah lempung Salaman berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS (lampiran 3) termasuk klasifikasi tanah lempung.

6.2 Analisis Hubungan Beban dengan Penurunan Terhadap Prosentase Berat

Kapur

Semua uji yang dilaksanakan pada penelitian ini untuk setiap sampel dengan prosentase berat kapur tertentu dilakukan pada 0 jam (setelah dibuat sampel langsung diuji) dan sampel didiamkan terlebih dahulu selama 48 jam setelah sampel dibuat baru kemudian diuji.

Pencampuran kapur hidrat sebagai *lime column* terhadap tanah lempung akan merubah *settlement* tanah. Perubahan *settlement* tanah diakibatkan oleh penambahan prosentase kapur hidrat sebagai *lime column*. Semakin besar prosentase kapur hidrat sebagai *lime column* dengan ketinggian tertentu maka *settlement* tanah akan semakin mengecil.

Dari Tabel 6.1 dibawah ini dapat dilihat terjadinya perubahan penurunan tanah yang semakin kecil seiring bertambahnya prosentase berat kapur yang digunakan sebagai *lime column*. Adapun peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah yang terjadi pada tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 30 cm yang diuji pada 0 jam untuk prosentase berat kapur 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 % adalah 10,060 %, 19,323 %, 41,247 %, dan 65,158 %.

Tabel 6.1 Peningkatan prosentase perubahan *settlement* dengan tinggi *lime column* 30 cm yang langsung diuji (0 jam)

No	Prosentase kapur hidrat	Hasil Pembacaan Dial (mm)	Peningkatan Prosentase Perubahan <i>Settlement</i> Tanah (%)
1	0%	14.910	0.000
2	8%	13.410	10.060
3	12%	12.029	19.323
4	20%	8.760	41.247
5	100%	5.195	65.158

Dari Tabel 6.2 berikut ini terjadi perubahan penurunan tanah yang semakin kecil seiring bertambahnya prosentase berat kapur. Adapun peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah yang terjadi pada tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi *lime column* 30 yang diuji pada 48 jam untuk prosentase berat kapur 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 % adalah 17,409 %, 32,632 %, 48,597 %, dan 66,873 %.

Tabel 6.2 Peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah dengan tinggi *lime column* 30 cm yang diperam selama 2 hari (48 jam)

No	Prosentase kapur hidrat	Hasil Pembacaan Dial (mm)	Peningkatan Prosentase Perubahan <i>Settlement</i> Tanah (%)
1	0%	12.120	0.000
2	8%	10.010	17.409
3	12%	8.165	32.632
4	20%	6.230	48.597
5	100%	4.015	66.873

Dari Tabel 6.3 dibawah ini terjadi perubahan *settlement* tanah yang semakin kecil seiring dengan peningkatan prosentase berat kapur hidrat sebagai *lime column*. Adapun peningkatan prosentase perubahan *settlement* yang terjadi pada tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 20 cm yang diuji pada 0 jam untuk

prosentase berat kapur 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 % adalah 2,616 %, 4,862 %, 8,451 %, dan 12,475 %.

Tabel 6.3 Peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah dengan tinggi *lime column* 20 cm yang langsung diuji (0 jam)

No	Prosentase kapur hidrat	Hasil Pembacaan Dial (mm)	Peningkatan Prosentase Perubahan <i>Settlement</i> Tanah (%)
1	0%	14.910	0.000
2	8%	14.520	2.616
3	12%	14.185	4.862
4	20%	13.650	8.451
5	100%	13.050	12.475

Dari Tabel 6.4 berikut ini terjadi perubahan *settlement* tanah yang semakin kecil seiring bertambahnya prosentase berat kapur sebagai *lime column*. Adapun peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 20 cm yang diuji pada 48 jam untuk prosentase berat kapur 8 %, 12 %, 20 %, dan 100 % adalah 9,320 %, 17,822 %, 40,842 %, dan 57,962 %.

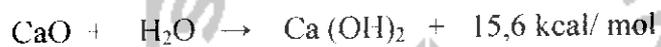
Tabel 6.4 Peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah dengan tinggi *lime column* 20 cm yang diperam selama 2 hari (48 jam)

No	Prosentase kapur hidrat	Hasil Pembacaan Dial (mm)	Peningkatan Prosentase Perubahan <i>Settlement</i> tanah (%)
1	0%	12.120	0.000
2	8%	10.990	9.320
3	12%	9.960	17.822
4	20%	7.170	40.842
5	100%	5.095	57.962

Dari hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 6.1 sampai Tabel 6.4 terlihat bahwa penambahan kapur hidrat sebagai *lime column* dapat merubah *settlement* tanah akibat mendukung beban di atasnya. Semakin kecil prosentase kapur

hydrat sebagai *lime column* maka *settlement* yang terjadi akan semakin besar, sedangkan semakin besar penambahan prosentase kapur hidrat sebagai *lime column* maka *settlement* tanah cenderung akan semakin mengecil, karena disebabkan terjadinya reaksi antara kapur hidrat sebagai *lime column* dengan tanah lempung yang menyebabkan perubahan *settlement* akibat diberi beban yang bekerja di atasnya.

Bila kapur dicampurkan pada tanah, maka pada tanah yang ada kandungan airnya, akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Melalui reaksi kimia ini 0,321 kg air bereaksi dengan 1 kg kapur dan menimbulkan panas sebesar 278 kcal. Pada saat bersamaan, volume kapur menjadi kira-kira 2 kali lebih besar dari volume asal sehingga berakibat turunnya kandungan air didalam tanah tersebut. Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif, seperti ion Hidrogen (H^+), ion Sodium (Na^+), ion Kalsium (K^+) serta air yang berpolarisasi, semuanya melekat pada permukaan butiran-butiran lempung tadi. Jika kapur ditambahkan pada tanah dengan kondisi seperti diatas, maka pertukaran ion segera terjadi, dan ion sodium yang berasal dari larutan kapur diserap oleh permukaan butiran lempung. Jadi, permukaan butiran lempung tadi kehilangan kekuatan tolaknya (*repulsion force*), dan terjadilah kohesi daripada butiran itu sehingga berakibat kenaikan kekuatan konsistensi tanah tersebut.

Pada pengujian ini dihasilkan bahwa tanah yang diberi *lime column* dengan prosentase berat kapur 100 % mengalami penurunan atau *settlement* tanah yang paling kecil, baik yang diuji pada 0 jam maupun pada 48 jam, karena ion-ion Ca^{++} yang terkandung didalam kapur dapat mengikat partikel-partikel lempung

tersebut, hingga menyebabkan tanah menjadi keras, sehingga semakin besar prosentase kapur hidrat sebagai *lime column* maka semakin kecil penurunan atau *settlement* yang akan terjadi pada tanah tersebut. Pengujian ini sesuai dengan hasil pengujian Diatri Nararatih (2000), bahwa pada *lime column* dengan prosentase kapur 100 % , tegangan terjadi paling besar dengan regangan yang juga relatif besar, dan terjadi perubahan tegangan setiap adanya penambahan prosentase berat kapur.

6.3 Analisis Perubahan Penurunan Tanah Terhadap Variasi Tinggi Lime Column

Dari Tabel 6.1 sampai Tabel 6.4 dapat dilihat bahwa perbedaaan tinggi *lime column* akan mempengaruhi perubahan *settlement* tanah akibat beban yang bekerja diatasnya. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa *lime column* dengan tinggi 30 cm lebih kecil penurunannya dari pada *lime column* dengan tinggi 20 cm (2/3 tinggi benda uji), ini terjadi karena *lime column* dengan tinggi 30 cm (sampai *end bearing*) merupakan tiang dukung ujung yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang dan hanya sebagian kecil berasal dari tanah yang ada diatasnya. Fondasi tiang dukungan ujung yang dikelilingi oleh tanah dipandang secara keliru sebagai kolom yang berdiri bebas tanpa didukung arah lateral oleh tanah. Dari pengalaman dan teori terlihat bahwa tidak ada bahaya tekuk pada tiang yang dibebani secara aksial dengan ukuran konvensional yang disebabkan oleh dukungan lateral yang tidak mencukupi, walaupun tiang tersebut berada pada tanah yang sangat lunak. Kapasitas tiang dukungan ujung tergantung seluruhnya pada kekuatan bahan yang mendukung beban dan pada tanah pendukungnya. Jika lapisan pendukung tidak

mengandung material yang berkekuatan besar seperti *sound rock* atau *hardpan* sehingga cukup kuat, sebaliknya lapisan itu tebal dan mempunyai timbunan yang relatif kuat.

Pada tanah yang diberi kolom kapur dengan tinggi 30 cm atau sampai ke dasar benda uji (*end bearing*) akan bekerja tahanan ujung tiang (Q_p) dan tahanan gesek selimut tiang akibat gesekan dengan tanah (Q_s), tahanan yang lebih dulu bekerja adalah tahanan gesek selimut tiang akibat gesekan dengan tanah (Q_s), tahanan-tahanan inilah yang menyebabkan perubahan *settlement* tanah yang cenderung berkurang akibat diberi *lime column* dengan beban ultimit yang bekerja di atasnya (Q_u).

Tahanan ujung (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 10-25 % dari lebar atau diameter tiang.....*B.M. Das*
- 10-20 % dari lebar atau diameter tiang.....*Tomlinson*

Misalnya digunakan teori dari Tomlinson, untuk kolom kapur dengan tinggi 30 cm yang diuji 0 jam dan 48 jam dengan diameter 32 mm, jika 10 % dari diameternya adalah $10\% \times 32 \text{ mm} = 3,2 \text{ mm}$, maka tahanan ujung (gesekan permukaan) telah termobilisasi secara penuh karena telah terjadi *displacement* yang melebihi dari *displacement* yang disyaratkan oleh Tomlinson yaitu untuk *displacement* yang terkecil adalah sebesar 4,015 mm dan yang terbesar adalah 14,920 mm.

Sedangkan pada *lime column* dengan tinggi 20 cm (*friction pile*) merupakan tiang gesek dengan dukungan gesek daya dukungnya berasal dari tanah

yang mengelilingi tiang, yaitu berasal dari gesekan antara tanah dan tiang. Sebagian kecil beban didukung oleh tanah disekitar ujung dari tiang. Tiang gesek digunakan jika lapisan keras tidak jumpai (dalam sekali sehingga tidak ekonomis).

Pada tanah yang diberi kolom kapur dengan tinggi 20 cm (*friction pile*) gaya yang bekerja hanya tahanan gesek selimut tiang akibat gesekan dengan tanah (Q_s), karena lapisan keras tidak dijumpai maka tahanan ujung tiang (Q_p) dianggap 0.

Tahanan friksi (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 5-10 mm (0,2-0,3 in) atau *B.M.Das*
- 0,3-1 % dari lebar atau diameter tiang..... *Tomlinson*

Misalnya digunakan teori dari Tomlinson, untuk kolom kapur dengan tinggi 20 cm yang diuji 0 jam dan 48 jam dengan diameter 32 mm, jika 1 % dari diameternya adalah $1 \% \times 32 \text{ mm} = 0,32 \text{ mm}$, maka tahanan friksi (gesekan permukaan) telah termobilisasi secara penuh karena telah terjadi *displacement* yang melebihi dari *displacement* yang disyaratkan oleh Tomlinson yaitu untuk *displacement* yang terkecil adalah sebesar 4,015 mm dan yang terbesar adalah 14,920 mm.

Bukti-bukti dari pengujian-pengujian pembebanan pada tiang pancang yang dilengkapi peralatan tertentu menunjukkan bahwa pada tahap-tahap awal pembebanan, sebagian besar beban didukung oleh friksi kulit pada bagian atas tiang pancang. Kemudian, ketika beban ditambah, terjadi mobilisasi lebih jauh pada friksi kulit tetapi secara bertahap, proporsi beban yang didukung oleh friksi kulit dapat

berkurang sedikit akibat adanya aliran plastis pada tanah di dekat dasar tiang pancang.

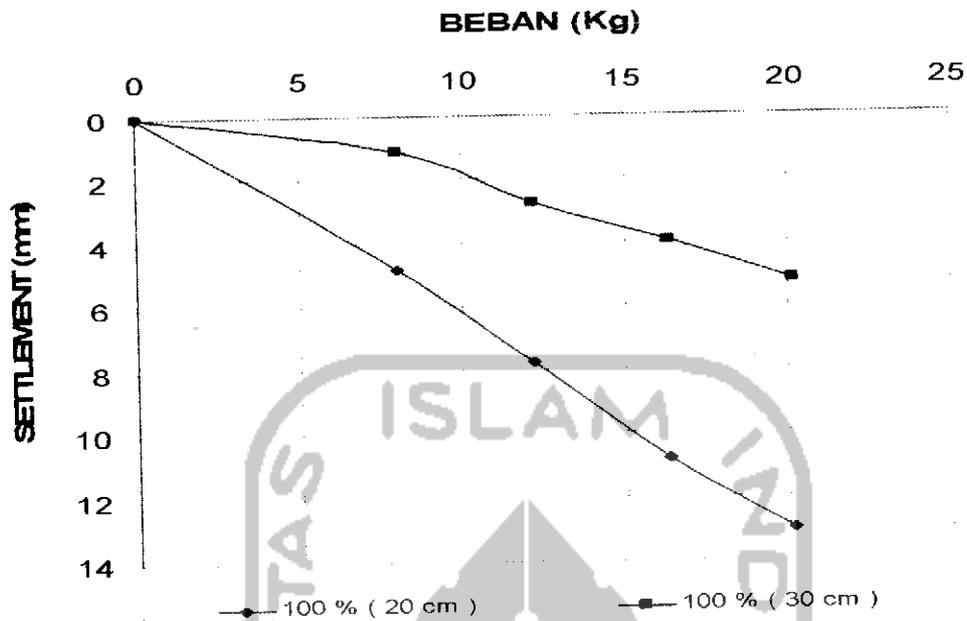
Pada lempung, tiang-tiang di sekeliling pusat akan memikul beban yang lebih besar dari tiang di pusat kelompok. Umumnya dapat diasumsikan bahwa semua tiang dalam satu kelompok akan turun dengan nilai yang sama, akibat kekakuan kepala tiang. Penurunan sekelompok tiang selalu lebih besar dari penurunan sebuah tiang yang bersesuaian, sebagai akibat dari tumpang tindihnya zona-zona pengaruh masing-masing tiang dalam kelompok tersebut. Gelembung tekanan sebuah tiang tunggal dan sekelompok tiang (dengan panjang yang sama dengan dengan tiang tunggal) dapat dilihat pada gambar 3.9. Tegangan-tegangan yang sangat berarti yang terbentuk pada sekelompok tiang jauh lebih luas daripada tiang tunggal yang bersesuaian. Rasio penurunan sebuah kelompok tiang didefinisikan sebagai rasio penurunan kelompok tersebut terhadap penurunan tunggal pada saat keduanya memikul beban ultimit yang sama.

Penurunan sebuah kelompok tiang pada lempung dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa beban total dipikul oleh sebuah "rakit ekuivalen" (equivalent raft) yang ditempatkan pada kedalaman $\frac{2}{3} L$, dimana L adalah panjang tiang. Dapat diasumsikan, seperti terlihat pada gambar 3.10. Bahwa beban disebarkan dari keliling kelompok tiang dengan kemiringan horizontal 1 terhadap vertikal 4 untuk membiarkan sebagian beban disalurkan ke tanah oleh friksi kulit. Kenaikan tegangan vertikal pada sembarang kedalaman di bawah rakit ekuivalen dapat dihitung dengan kembali mengasumsikan bahwa beban total disebarkan pada tanah-tanah yang melapisi di bawahnya dengan kemiringan horisontal 1 terhadap vertikal 2.

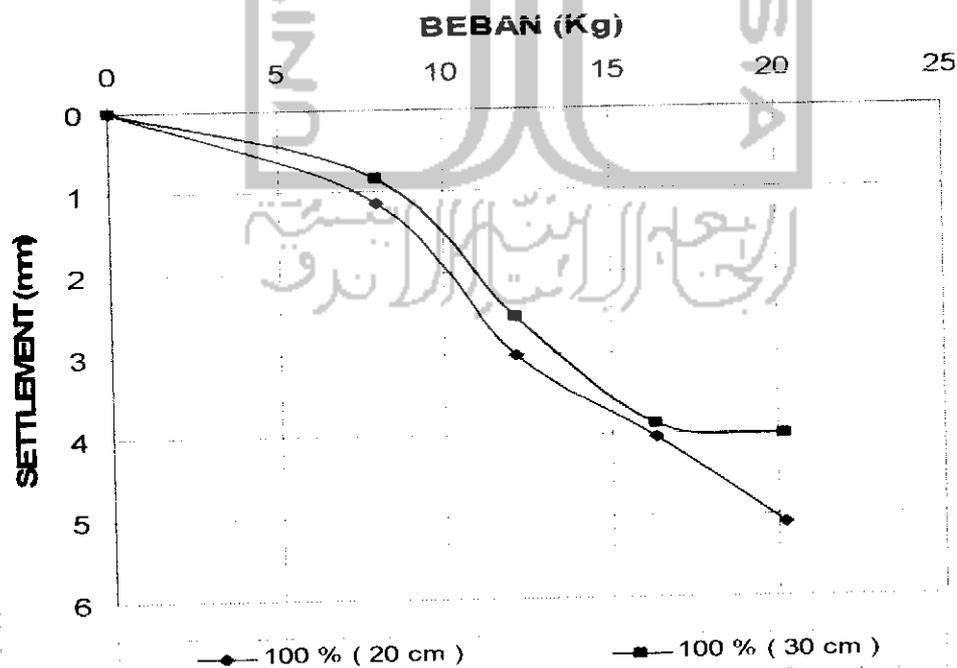
Penghitungan penurunan untuk beberapa macam tiang mengambil titik acuan yang berbeda-beda yaitu :

- Tiang friksi, penurunannya dihitung mulai kedalaman $2/3 L$.
- Tiang tahanan ujung, penurunannya dihitung mulai kedalaman L .
- Tiang gabungan, penurunannya dihitung mulai kedalaman $2/3 L-L$.

Teori diatas sesuai dengan hasil pengujian yang dihasilkan bahwa tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 30 cm (sampai *end bearing*) mengalami *settlement* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 20 cm (*friction pile*), baik yang diuji pada 0 jam maupun pada 48 jam, seperti yang terlihat pada gambar 6.1 dan gambar 6.2 dengan prosentase berat kapur 100 %, pada pengujian 0 jam, tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 30 cm mempunyai selisih peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah sebesar 60,192 % dari tanah yang diberi dengan *lime column* tinggi 20 cm, sedangkan pada pengujian 48 jam tanah yang diberi *lime column* dengan tinggi 30 cm mempunyai selisih peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah sebesar 21,197 % dari tanah yang diberi dengan *lime column* tinggi 20 cm.



Gambar 6.1. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 100 % (20 cm dan 30 cm) yang diuji pada 0 jam

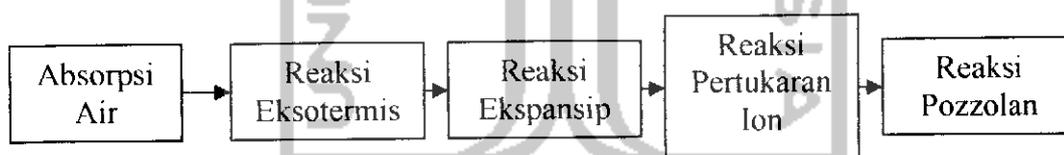


Gambar 6.2. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 100 % (20 cm dan 30 cm) yang diuji pada 48 jam

6.4. Analisis Perubahan Penurunan Tanah Akibat Pemeraman

Perubahan *settlement* tanah akibat *curing time* disebabkan oleh reaksi *pozzolanic*. Reaksi *pozzolanic* adalah peningkatan kuat geser tanah akibat bertambahnya umur sampel benda uji. Dengan bertambahnya waktu, maka Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3) yang terkandung didalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan bereaksi dengan kapur dan akan membentuk Kalsium silikat hidrat seperti : tobermorite, kalsium aliminat hidrat seperti : 4CaO , Al_2O_3 , $12 \text{H}_2\text{O}$ dan Gehlenite hidrat 2CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , $6\text{H}_2\text{O}$. Pembentukan senyawa – senyawa kimia ini terus-menerus berlangsung untuk waktu yang lama, dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, kuat dan awet., karena senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai *hinder* (pengikat).

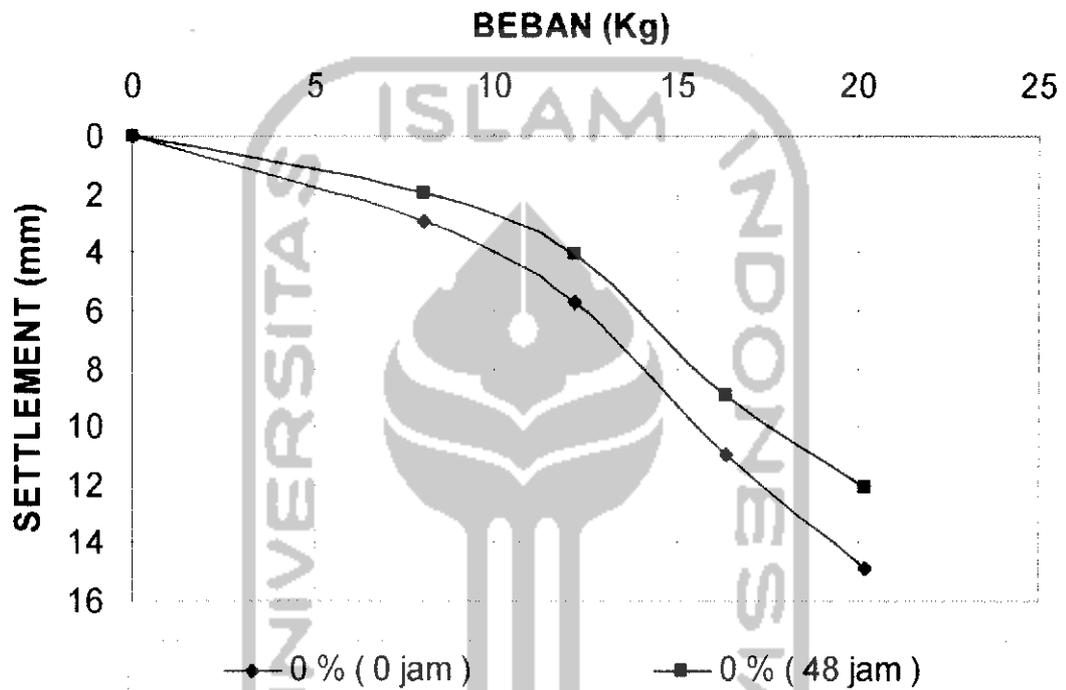
Urutan – urutan reaksi yang terjadi pada campuran tanah lempung dengan kapur :



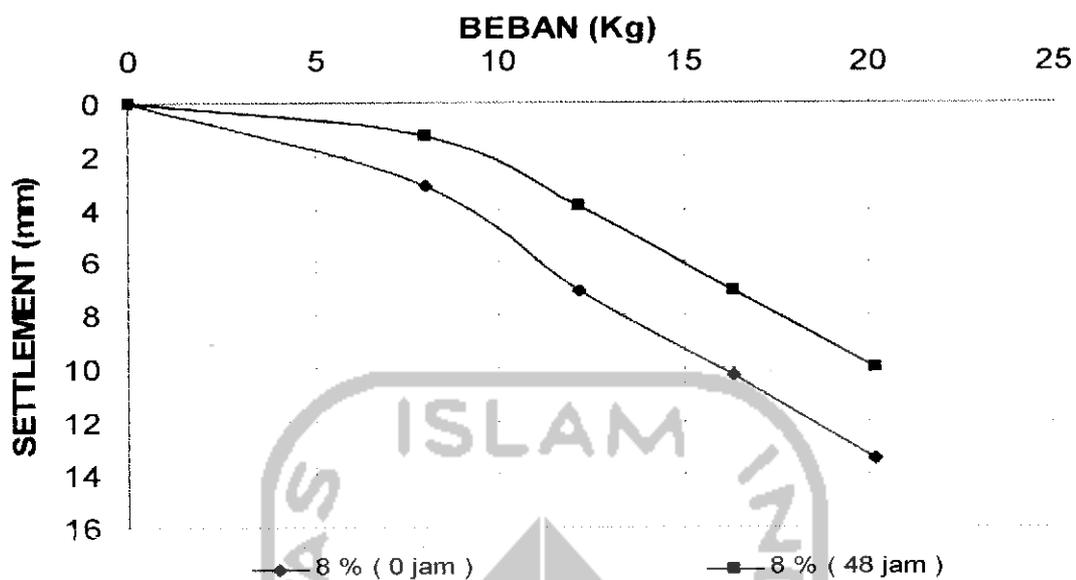
Tergantung daripada jenis mineral lempung, sifat reaktif dari tanah berbeda-beda. Tanah dengan kadar lempung yang rendah, tanah dengan kandungan mineral lempung dengan kadar reaktif rendah tidak sesuai dengan stabilisasi dengan kapur.

Perubahan *settlement* tanah akibat reaksi *pozzolan* dapat dilihat pada gambar 6.3 sampai dengan gambar 6.11. Untuk tanah asli mengalami peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah sebesar 18.712 % dan peningkatan prosentase perubahan *settlement* tanah akibat penambahan kapur hidrat sebagai *lime column*

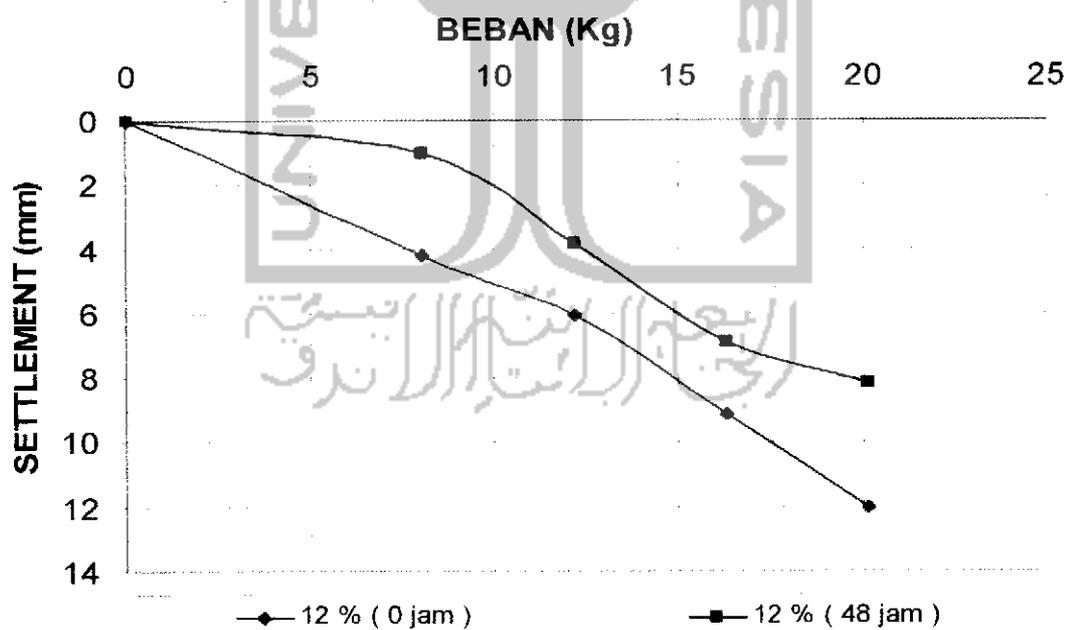
dari pengujian 0 jam dan 48 jam untuk tinggi *lime column* 30 cm dengan prosentase kapur 8 %, 12 %, 20 %, 100 % adalah 25,35 %, 32,122 %, 28,88 % dan 15,626 %, sedangkan untuk tinggi *lime column* 20 cm mengalami peningkatan sebesar 24.310 %, 29.785 %, 47.47 % dan 60.96 %.



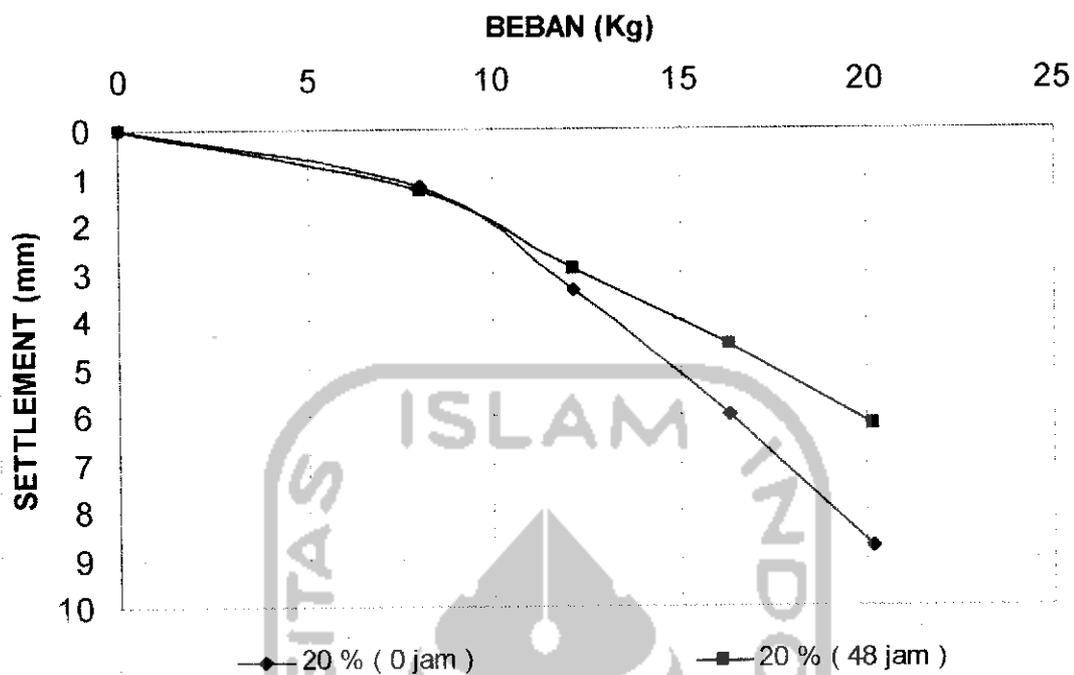
Gambar 6.3. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah dengan Prosentase Kapur 0 % (0 jam dan 48 jam)



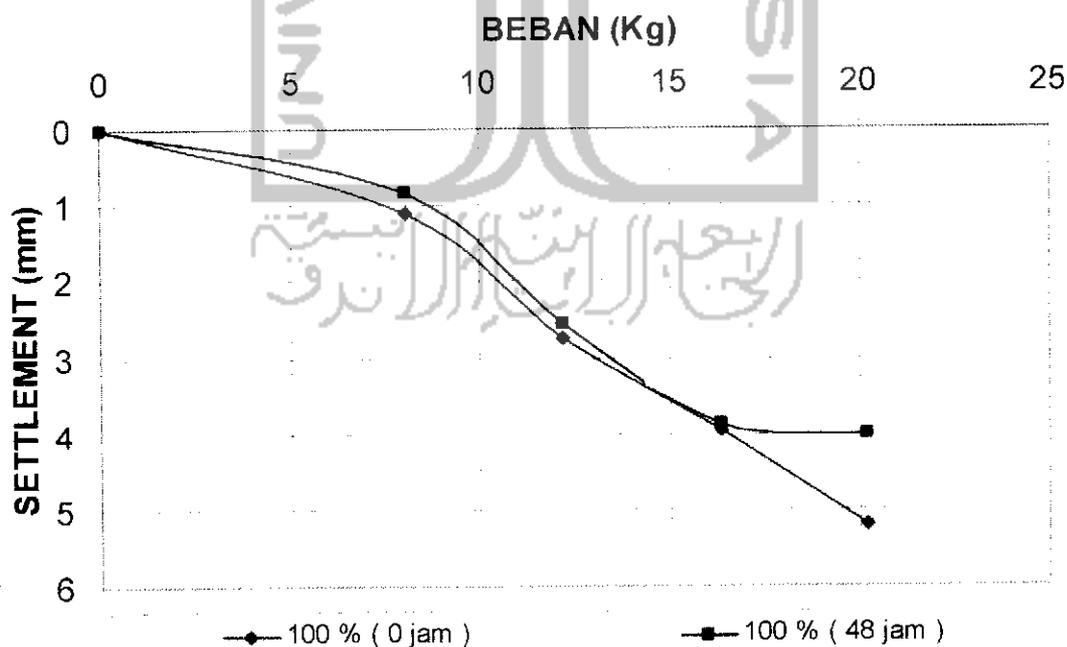
Gambar 6.4. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 30 cm dengan Prosentase Kapur 8 % (0 jam dan 48 jam)



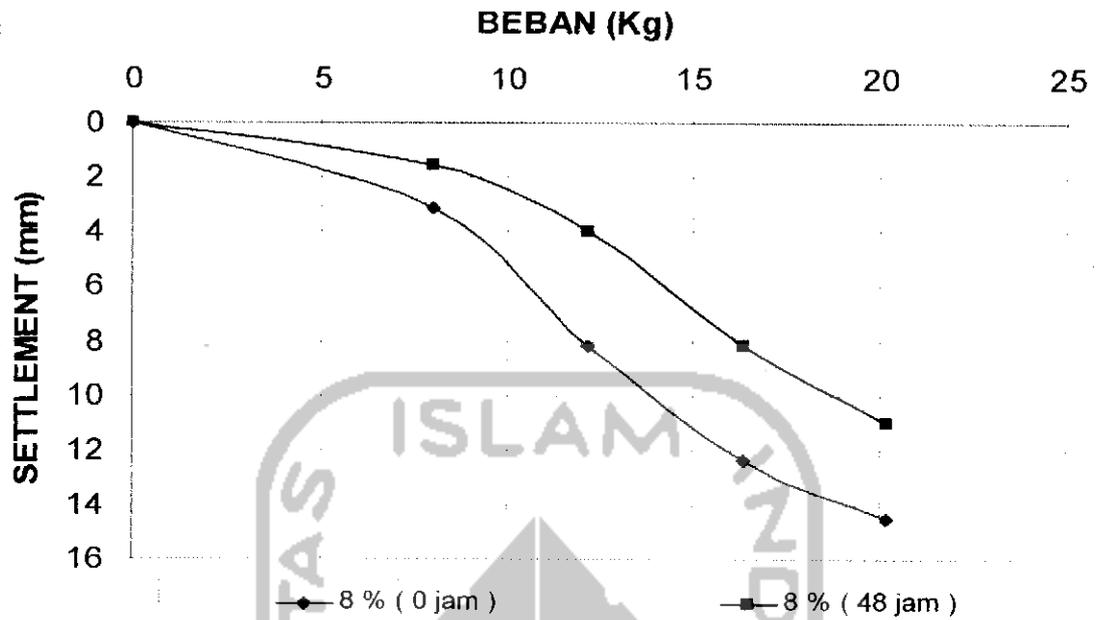
Gambar 6.5. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 30 cm dengan Prosentase Kapur 12 % (0 jam dan 48 jam)



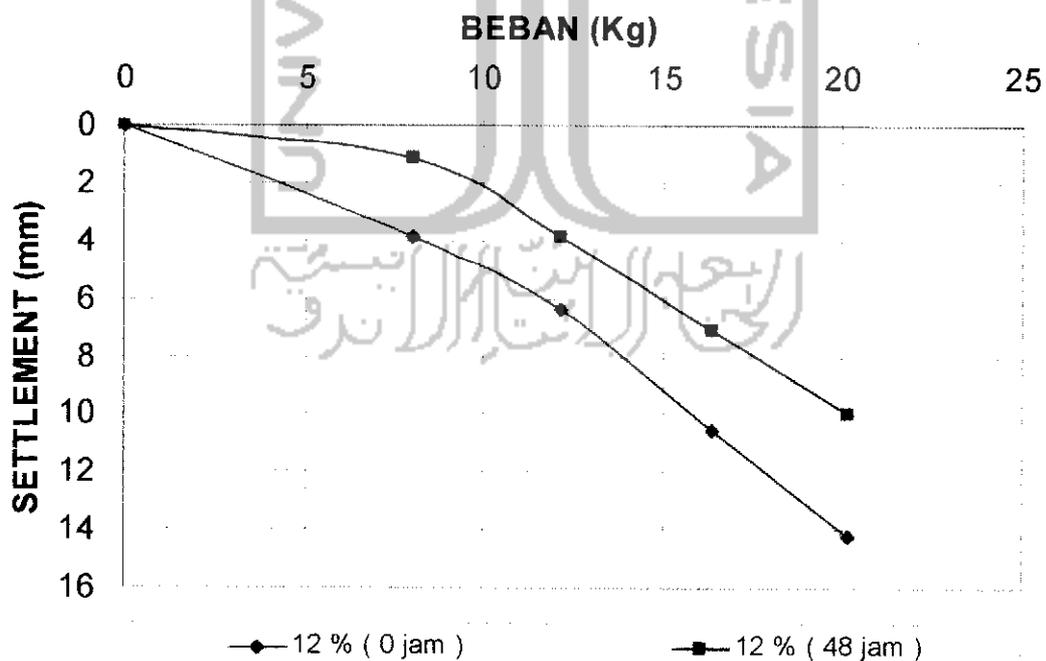
Gambar 6.6. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 30 cm dengan Prosentase Kapur 20 % (0 jam dan 48 jam)



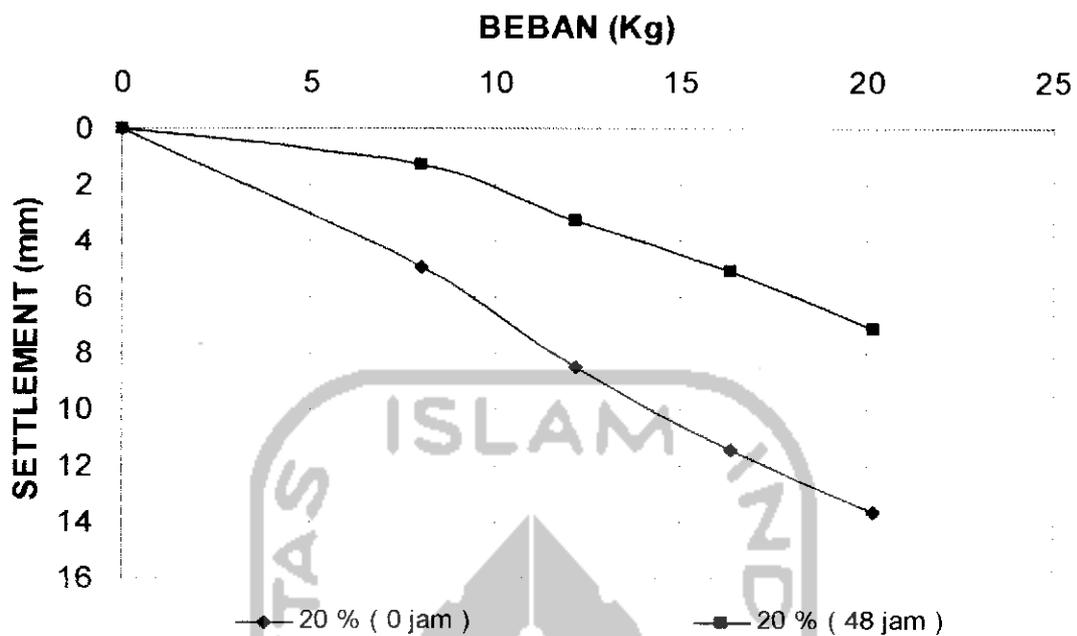
Gambar 6.7. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 30 cm dengan Prosentase Kapur 100 % (0 jam dan 48 jam)



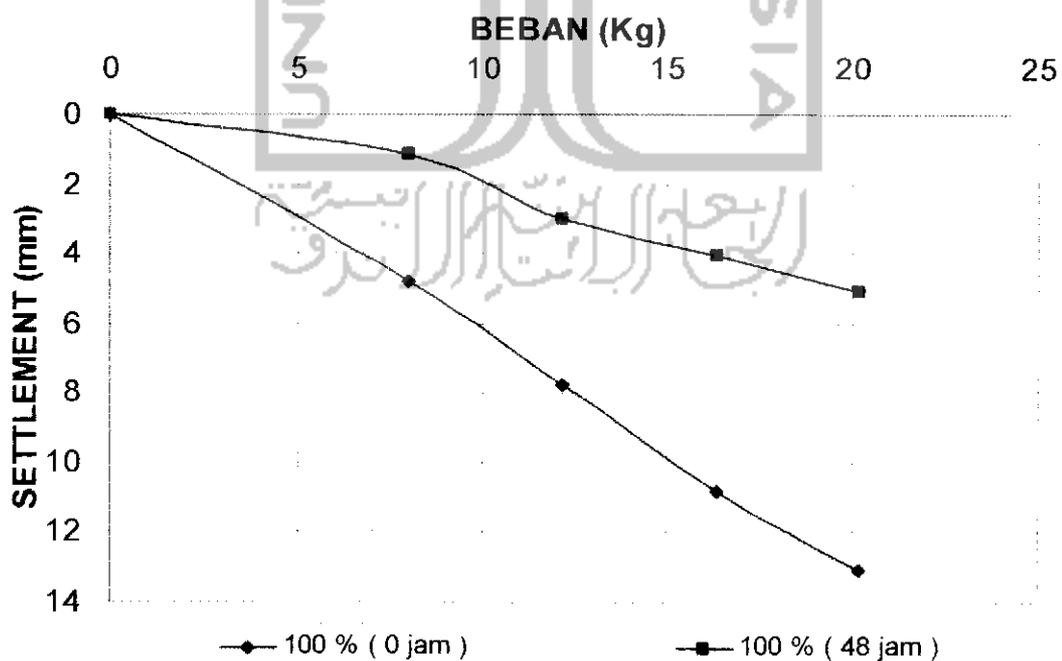
Gambar 6.8. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 20 cm dengan Prosentase Kapur 8 % (0 jam dan 48 jam)



Gambar 6.9. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 20 cm dengan Prosentase Kapur 12 % (0 jam dan 48 jam)



Gambar 6.10. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 20 cm dengan Prosentase Kapur 20 % (0 jam dan 48 jam)



Gambar 6.11. Grafik Perbandingan Penurunan Tanah Untuk Tinggi Kolom Kapur (*Lime Column*) 20 cm dengan Prosentase Kapur 100 % (0 jam dan 48 jam)

Pada tanah lempung yang diberi *lime column* akan terjadi proses kimia antara udara, air dan tanah. Proses kimia yang terjadi antara air dan udara yang terdapat di dalam tanah lempung pada *lime column* dengan prosentase berat kapur tertentu, masih belum berlangsung pada saat sampel diuji 0 jam. Sedangkan pada sampel yang diuji pada 48 jam, *lime column* dengan prosentase berat kapur tertentu dengan tanah lempung yang mengandung air serta udara sekitarnya telah terjadi reaksi kimia dengan sempurna sebelum sampel diuji, yang mengakibatkan telah terjadinya perubahan kandungan air yang ada pada sampel tersebut. Karena kapur yang kering dengan air dan udara yang ada di dalam lempung mengalami proses kimia, air dan udara yang merupakan *coagulan* dari kapur dapat mempercepat terjadinya *flocculation* pada kapur.

Dalam penelitian ini terjadi perbedaan *settlement* tanah pada saat sampel diuji 0 jam dengan sampel yang diuji pada *curing time* 48 jam. Hal ini disebabkan karena kolom kapur mengalami beberapa fase yang harus dilewati, yaitu fase pembentukan gel, fase pembentukan neolithic, fase pembentukan karbonat yang kemudian membentuk kristal-kristal karbonat yang mengisi ruang pori dengan baik. Fase pembentukan gel yang memerlukan waktu lebih lama dibandingkan dengan fase lainnya. Namun proses ini dapat dipercepat dengan memperbesar temperatur. Gel dari neolith terbentuk dengan lambat, beberapa membentuk kristal dan hal ini dapat terlihat melalui mikroskop.

Seperti yang telah dikemukakan pada kajian pustaka di depan bahwa terjadi reaksi kimia antara kapur dengan mineral lempung dari tanah, yang

menyebabkan terjadinya perubahan sifat tanah. Reaksi itu membentuk air kratangel dari kalsium silikat yang membentuk semen (*cementation*) partikel-partikel tanah.

Gel silikat memproses secepatnya melapisi dan membalut gumpalan-gumpalan lempung dalam tanah dan mendesak pori-pori tanah. Pada saat tersebut gel ini mengkristal terus-menerus menjadi kalsium silikat hidrat. Proses reaksi hanya menyediakan air dan mampu membawa kalsium dan ion-ion hidroksil ke permukaan lempung.

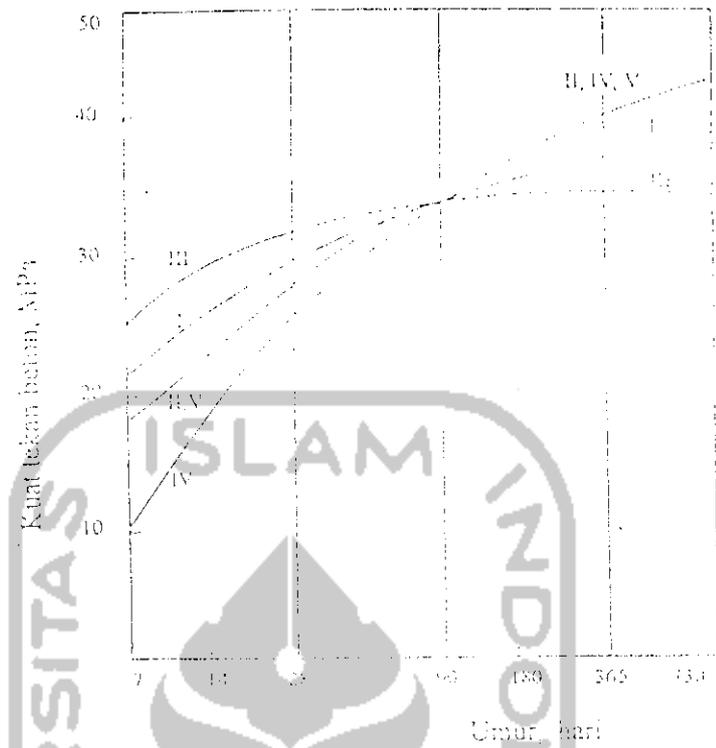
Adapun mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut :



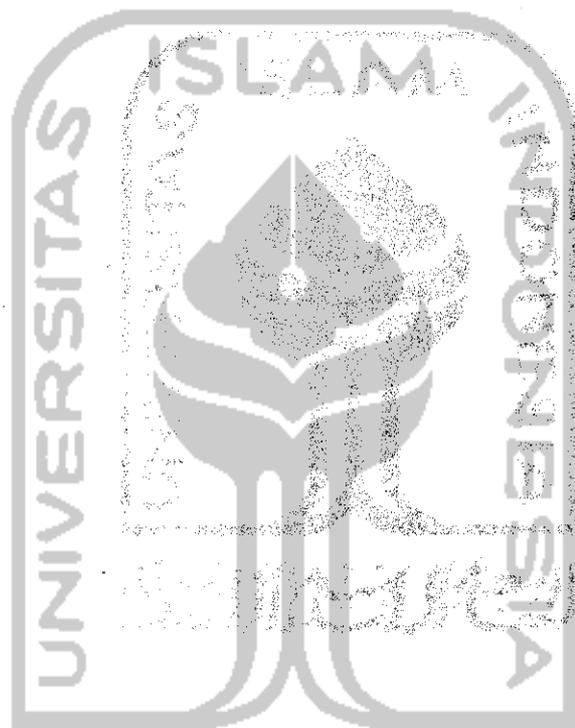
Dimana S = SiO₂, H = H₂O, A = AlO₃, C = CaO, N = NaO₂

- * Silika dipindahkan secara progresif, kalsium alumina dan alumina pada akhirnya
- ** atau CSH

Reaksi kemudian menyebabkan kekeringan dan tanah-tanah yang sangat kering tidak akan bereaksi dengan kapur. Hal inilah yang menyebabkan turunnya nilai indeks kompresi (Cc) dan naiknya nilai kohesi (c) dari tanah yang diberi kolom kapur (Diatri Nararatih, ST, 2000). Laju kenaikan kekuatan geser tanah pada pengujian ini semakin bertambah dengan semakin bertambahnya pengeraman (*curing time*), hal ini selaras dengan kenaikan kuat tekan beton yang cenderung bertambah seiring dengan bertambahnya waktu dan juga tergantung pada jenis semen yang digunakan pada beton tersebut. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 6.12 berikut ini.



Gambar 6.12. Kuat tekan beton untuk berbagai jenis semen



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

BAB VII

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan oleh peneliti, sebagaimana yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan klasifikasi sistem USCS, lempung Salaman termasuk tanah lempung, sedangkan menurut sistem Unified termasuk kelompok (OH) yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi dan berdasarkan hasil nilai kuat tekan bebas (q_u) lempung Salaman termasuk lempung lunak (*soft clay*).
2. *Settlement* yang terjadi pada tanah yang menggunakan *lime column* semakin berkurang seiring dengan bertambahnya prosentase berat kering kapur dan bertambahnya waktu pemeraman (*curing time*).
3. *Lime column* dengan prosentase berat kering kapur 100 % cenderung mengalami peningkatan prosentase perubahan *settlement* yang lebih besar.
4. Tinggi *lime column* akan sangat berpengaruh pada penurunan yang terjadi pada tanah. *Lime column* dengan tinggi 30 cm lebih kecil penurunannya daripada *lime column* dengan tinggi 20 cm (2/3 benda uji).

7.2 Rekomendasi

Materi penulisan tugas akhir ini masih dapat dikupas lebih dalam lagi untuk kemajuan dan perkembangan pengetahuan tentang *lime column*, sehingga metode ini lebih dikenal bukan hanya bagi dunia praktisi teknik sipil saja, tetapi juga bagi lingkungan ilmiah Perguruan Tinggi.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. Penelitian ini dalam aplikasinya dilapangan memerlukan pengawasan dan ketelitian yang cukup tinggi agar terjadi pencampuran yang baik.
2. Perhitungan dengan suatu program dalam perencanaan harus ditunjang dengan ketelitian dalam perhitungan, pengetahuan mekanisme struktur, dan pengalaman dalam melaksanakan perbaikan tanah dengan menggunakan *lime column*.
3. Melakukan penelitian lanjut dengan :
 - a. Penggunaan konfigurasi yang lain seperti konfigurasi bentuk segitiga.
 - b. Menggunakan benda uji dengan ukuran yang berbeda.
 - c. Prosentase berat kering kapur yang berbeda.



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

DAFTAR PUSTAKA

- Braja M. Das. 1988, **Mekanika Tanah**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Braja M. Das. 1988, **Mekanika Tanah II**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Broms, B B and Boman, P (1975), "**Stabilisation of Soft Soil with Lime Columns**", Ground Engineering, Vol 12, Mei, p. 23-32. Corbet, S P (1988), "**Laboratory Trials for Lime Columns in Soft Clay**", Lime Stabilisation '88 Symposium, London, British Aggregate Construction Materials Industries, Maret, p.64-79.
- Broms, B. B (1985), "**Stabilisation of Slopes and Deep Excavations with Lime and Cement Columns**", 3rd International Geotechnical Seminar, Singapore, p. 127-135.
- Corbet, S. P (1988), "**Laboratory Trials for Lime Columns in Soft Clay**", Lime Stabilisation '88 Symposium, London, British Aggregate Construction Materials Industries, March, p.64-79.
- Craig RF, 1989, **Mekanika Tanah**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Diatri Nararatih, (2000). **Perubahan Parameter Penurunan dan Kuat Geser Tanah pada Penggunaan Lime Column**, Tugas Akhir, UII, Jogjakarta.
- Hary Christady, 1992, **Mekanika Tanah I**, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hary Christady, 1994, **Mekanika Tanah II**, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- I. S. Dunn, L. R. Anderson, F, W. Kiefer, 1980, **Dasar-dasar Analisis Geoteknik**, IKIP, Semarang Press, Semarang.
- I. S. Dunn, L. R. Anderson, F, W. Kiefer, 1980, **Dasar-dasar Analisis Geoteknik**, IKIP, Semarang Press, Semarang.
- Ingles O. G and Metcalf J. B, 1976, **Soil Stabilization Principles and Practice**, John Wiley and Sons Inc, New york.
- Lambe, T.W.& R.V. Withman, 1969,**Soil Mechanics**, Jhon Wiley & Sons Inc, New York, 553 pp

Luthfi Hasan, DR. IR. MS, 2004, **Diktat Kuliah Pondasi Dalam**, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Jogjakarta.

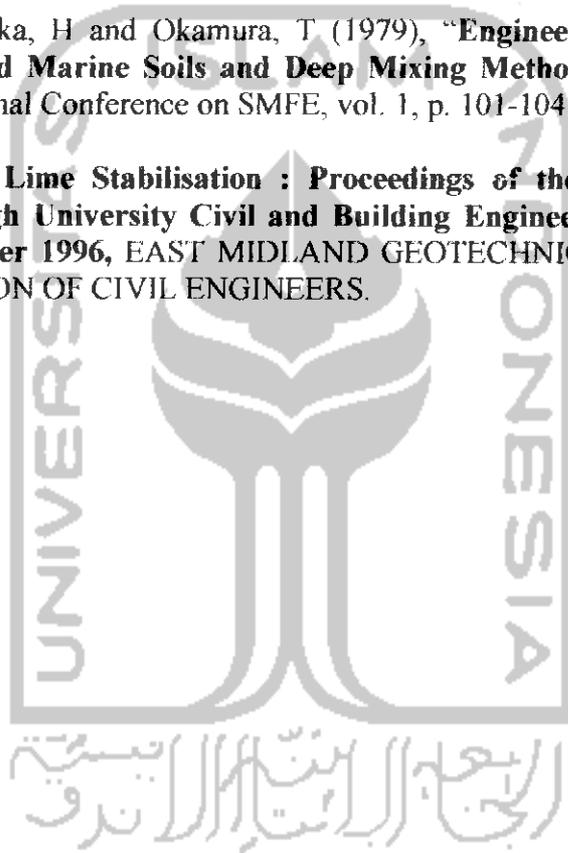
L. D. Wesley Dr. Ir, 1977, **Mekanika Tanah**, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

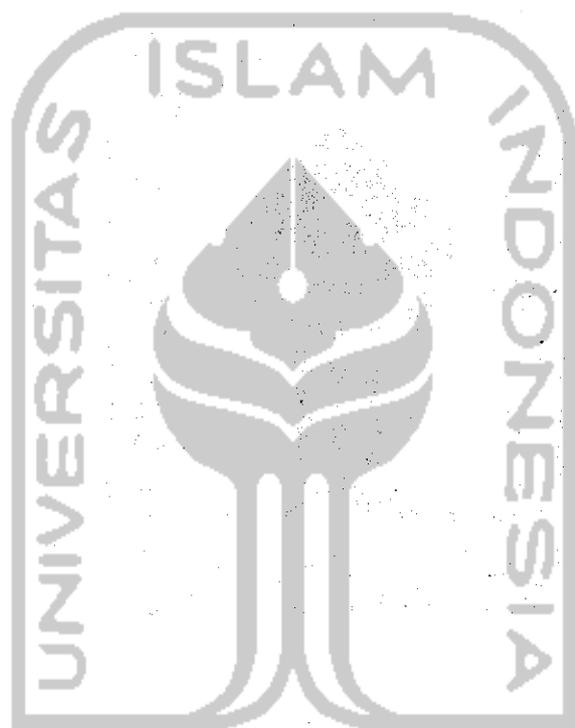
P.T. INDO CLEAN SET CEMENT, **Pedoman – Teknis “ Clean Set “**.

Ralph B. Peck, Walter E.Hanson, Thomas H. Thornburn, 1974, **Teknik Pondasi**, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.

Terasai, M, Tanaka, H and Okamura, T (1979), “**Engineering Properties of LimeTreated Marine Soils and Deep Mixing Method**”, Proceedings 6th Asian Regional Conference on SMFE, vol. 1, p. 101-104.

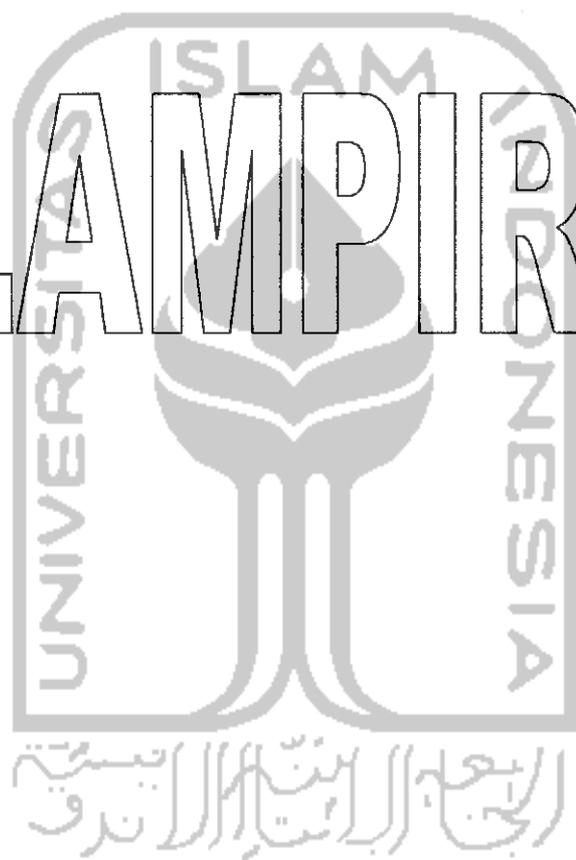
Thomas Telford, **Lime Stabilisation : Proceedings of the seminar held at Loughborough University Civil and Building Engineering Departement on September 1996**, EAST MIDLAND GEOTECHNICAL GROUP THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS.





جامعة الإسلام اندونيسيا

LAMPIRAN



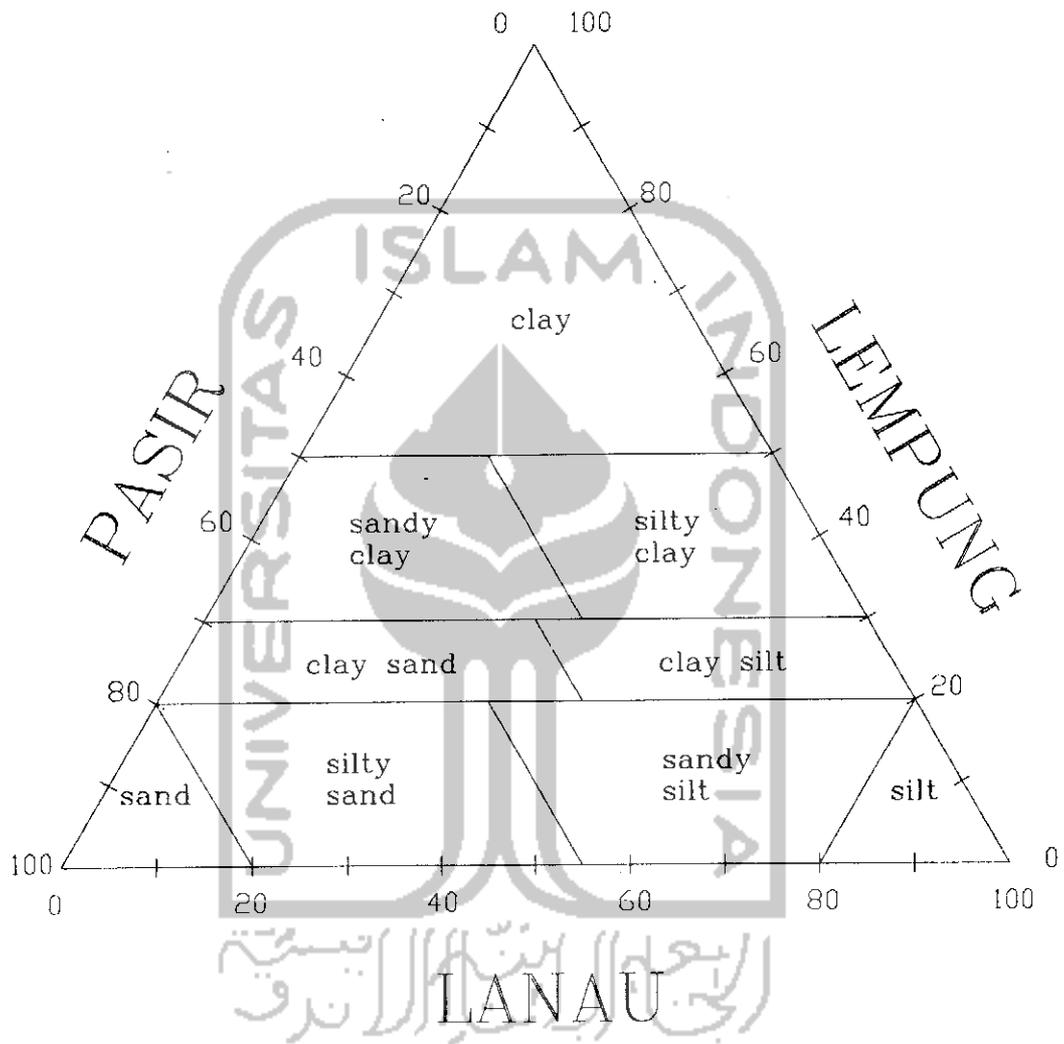
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

STAF
KEMAHAMBAHAN
KEMAHAMBAHAN



STAF
KEMAHAMBAHAN
KEMAHAMBAHAN

08-Sep-03
KEMAHAMBAHAN
KEMAHAMBAHAN
KEMAHAMBAHAN



Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project : ta
 Location : Salaman
 Boring No : BH 1 (0,60 m)
 Campuran : 1 (-1,75 m)

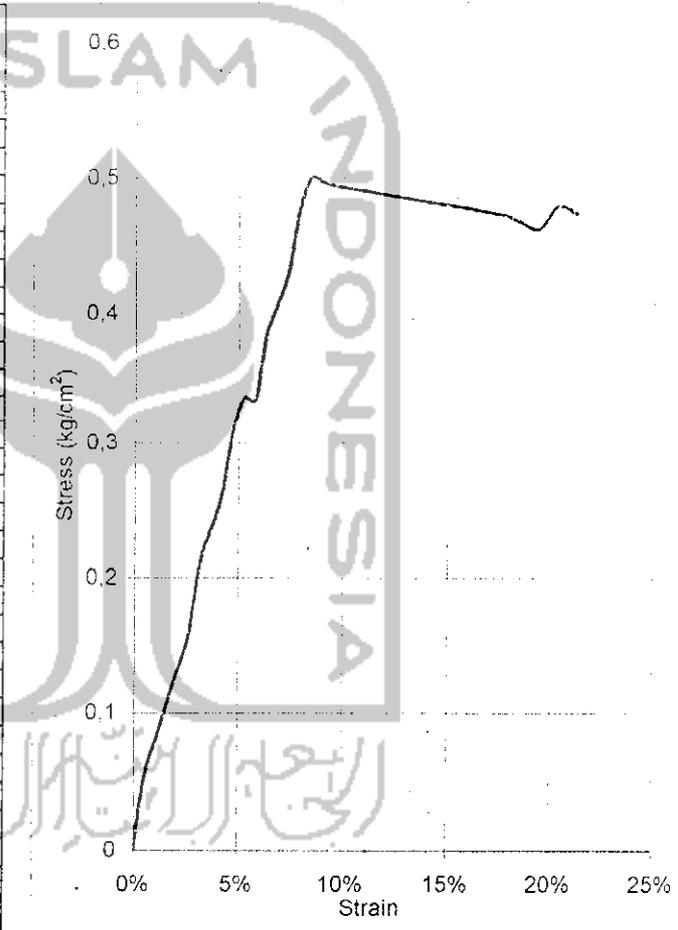
Date : 13-12-2003
 Tested by : Fauzan

Sample data	
diam (mm)	3,95
Area (mm ²)	12,2542
Ht.Lo (mm)	7,58
Vol (mm ³)	92,8866
Wt (gr)	154,8
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1,66655
Dry Unit wt (gr/cm ³)	1,14119

Water Content		
Wt Container (cup), gr	22,10	22,10
Wt of Cup + Wet soil, gr	31,30	30,29
Wt of Cup + Dry soil, gr	28,30	27,80
Water Content %	48,39	43,68
Average water content %	46,04	

LRC = 0,6692 kg/div

Deformation dial rating (x 10 ⁻¹)	Load dial (unit)	Unit Strain (% L/Lo)	Total load on sample (kg)	Sample stress (kg/cm ²)
0	0	0,00%	0	0
40	1	0,53%	0,6692	0,054322
80	1,5	1,06%	1,0038	0,08105
120	2	1,58%	1,3384	0,107491
160	2,5	2,11%	1,673	0,133643
200	3	2,64%	2,0076	0,159507
240	4	3,17%	2,6768	0,211524
280	4,5	3,69%	3,0114	0,236667
320	5	4,22%	3,346	0,261523
360	6	4,75%	4,0152	0,312098
400	6,5	5,28%	4,3498	0,336233
440	6,5	5,80%	4,3498	0,33436
480	7,5	6,33%	5,019	0,383639
520	8	6,86%	5,3536	0,406909
560	8,5	7,39%	5,6882	0,429891
600	9,5	7,92%	6,3574	0,477729
640	10	8,44%	6,692	0,499991
680	10	8,97%	6,692	0,497109
720	10	9,50%	6,692	0,494227
1330	10,5	17,55%	7,0266	0,472794
1400	10,5	18,47%	7,0266	0,467499
1470	10,5	19,39%	7,0266	0,462203
1540	11	20,32%	7,3612	0,478666
1610	11	21,24%	7,3612	0,473118
1680	10,5	22,16%	7,0266	0,446318
1750	11	23,09%	7,3612	0,462023
1820	11	24,01%	7,3612	0,456476
1890	10	24,93%	6,692	0,409935
1960		25,86%	0	0



qu =	0,49999 kg/cm ²
α =	49,5°
Angle Of Internal friction, φ =	9°
Cohesion =	0,214 kg/cm ²



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN KADAR AIR TANAH

Proyek : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Salaman, Magelang, Jawa Tengah
 Dikerjakan : Andi + Fauzan
 Dikerjakan : 27 Desember 2003

No	No Pengujian	1	2	3	4	5	6
1	Berat Container (W1) gram	22.1	22.22	21.8	21.7	21.93	21.9
2	Berat Container + Tanah Basah (W2) gram	38.37	37.43	35.8	32.5	33.24	35.86
3	Berat Container + Tanah kering (W2) gram	32.58	31.86	30.8	28.85	29.22	30.8
4	Berat Air (W2 - W3) → w_w	5.79	5.57	5	3.65	4.02	5.06
5	Berat Tanah Kering (W3 - W1) → w_s	10.48	9.64	9	7.15	7.29	8.9
6	Kadar Air (wa/Wt) x 100 % → w (%)	55.428	57.78	55.55	51.049	55.144	56.854
7	Kadar air rata-rata, w (%)	55.272					



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PENGUJIAN BERAT VOLUME TANAH

Proyek : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Salaman, magelang, Jawa Tengah
 Dikerjakan Oleh : Andi + Fauzan
 Dikerjakan : 27 Desember 2003

No	No Pengujian	1	2	3
1	Diameter Ring (d) cm	3.88	3.88	3.88
2	Tinggi Ring (t) cm	7.635	7.635	7.635
3	Volume Ring (V) Cm ³	90.228	90.228	90.228
4	Berat Ring (W1) Gram	138	138	138
5	Berat Tanah + Ring (W2) Gram	159	157	158
6	Berat Volume Tanah = $(W2 - W1) / V$ Gram/Cm ³	1.762	1.74	1.751
7	Berat Volume Rata-Rata (γ_{rt})	1.751		

8. Berat tanah $(w_2 - w_1)$.

PENGUJIAN BERAT JENIS			
Proyek : Tugas Akhir Lokasi : Salaman, Magelang, Jawa Tengah Kode sampel : BH1 Kedalaman : - 1,00 m			
BERAT JENIS AGREGAT HALUS (lolos #10)			
NO	No pengujian	1	2
1	Berat Picknometer (W1)	19.76	20.80
2	Berat Picknometer +tanah kering (W2)	31.18	40.25
3	Berat Picknometer + tanah + air (W3)	86.87	92.43
4	Berat Picknometer + air (W4)	79.80	80.18
5	Temperatur (t°)	27.00	28.00
6	Bj air pada temperatur (t°)	0.99655	0.99627
7	Bj air pada 27.5 ° C	0.99641	0.99641
8	Berat tanah kering (Wt) = W1-W2	11.42	19.45
9	A = Wt + W4	91.22	99.63
10	l = A - W3	4.35	7.20
11	Berat Jenis tanah, $G_s(t^0) = Wt / l$	2.63	2.70
12	G_s pada 27.5° = $G_s(t^0) \cdot (Bj \text{ air } t^0 / Bj \text{ air } t 27.5^0)$	2.626	2.701
13	Berat jenis rata-rata	2.66333	
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA			

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Lampiran 8

Project : Tugas Akhir	Location : Salaman, Magelang
Test no : 1	Date : 27 Desember 2003
Depth : 2,00 m	Tested by : Andi + Fauzan

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Mass of soil = 60 gr	Hydrometer type = 152 H
Specific Gravity, G = 2.663	Hydr. Correction, a = 0.997
K ₂ = a/W x 100 = 1.66163764	Meniscus correction, m = 1

Sieve Analysis

Sieve No	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass retained (gr)	% finer by mass e/W x 100%	Remarks
4	4.750	d1 = 0.00	e1 = 60.00	100.00	e7 = W - Sd
10	2.000	d2 = 0.40	e2 = 59.60	99.33	e6 = d7 + e7
20	0.850	d3 = 0.28	e3 = 59.32	98.87	e5 = d6 + e6
40	0.425	d4 = 0.37	e4 = 58.95	98.25	e4 = d5 + e5
60	0.250	d5 = 0.32	e5 = 58.63	97.72	e3 = d4 + e4
140	0.106	d6 = 0.74	e6 = 57.89	96.48	e2 = d3 + e3
200	0.075	d7 = 0.27	e7 = 57.62	96.03	e1 = d2 + e2
		Sd = 2.38			

Hydrometer Analysis

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' R1 + m	L	K	D (mm)	Rc= R1-R2+Cr	P K ₂ x R
12.48										
12.50	2	43	-2.0	28	44	9.091	0.0122	0.02598767	46.3	76.93
12.53	5	42	-2.0	28	43	9.254	0.0122	0.0165834	45.3	75.27
2.55	30	38	-2.0	28	39	9.909	0.0122	0.00700561	41.3	68.63
13.48	60	36	-2.0	28	37	10.237	0.0122	0.0050349	39.3	65.30
14.01	250	32	-2.0	28	33	10.892	0.0122	0.00254427	35.3	58.66
12.48	1440	29	-2.0	27	30	11.383	0.0122	0.00108376	32.3	53.67

Remarks :

Rc = R1 - R2 + Cr (Cr = Temperatur correction factors)

R' = R1 + m (m correctoin for meniscus)

SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA

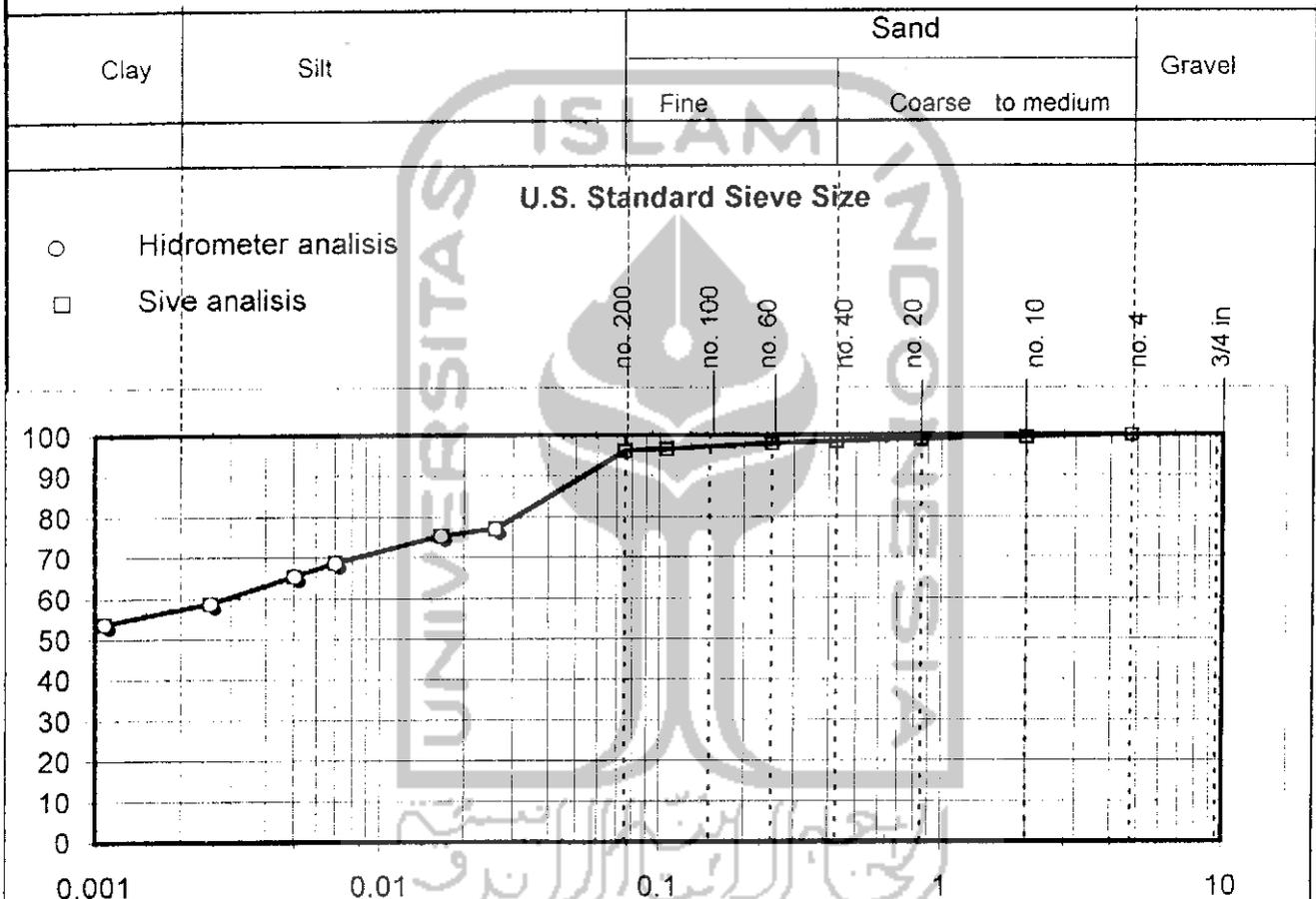
GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir	Tested : Andi + Fauzan
Smple no. : 1	Date : 27 Desember 2003
Depth : 2,00 m	Location : Salaman, Magelang

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Specific Gravity : 2.6633

Discription of soil : _____



Finer # 200 :	96.033 %	D10 (mm)	
		D30 (mm)	
Gravel :	0.00 %	D60 (mm)	
Sand :	3.97 %	$C_u = D_{60}/D_{10}$	
Silt :	38.78 %	$= D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$	
Clay :	57.25 %		

SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
SLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA



PENGUJIAN BATAS CAIR

PROYEK Tugas Akhir
 LOKASI Salaman, Magelang, Jawa Tengah
 Campuran 0%

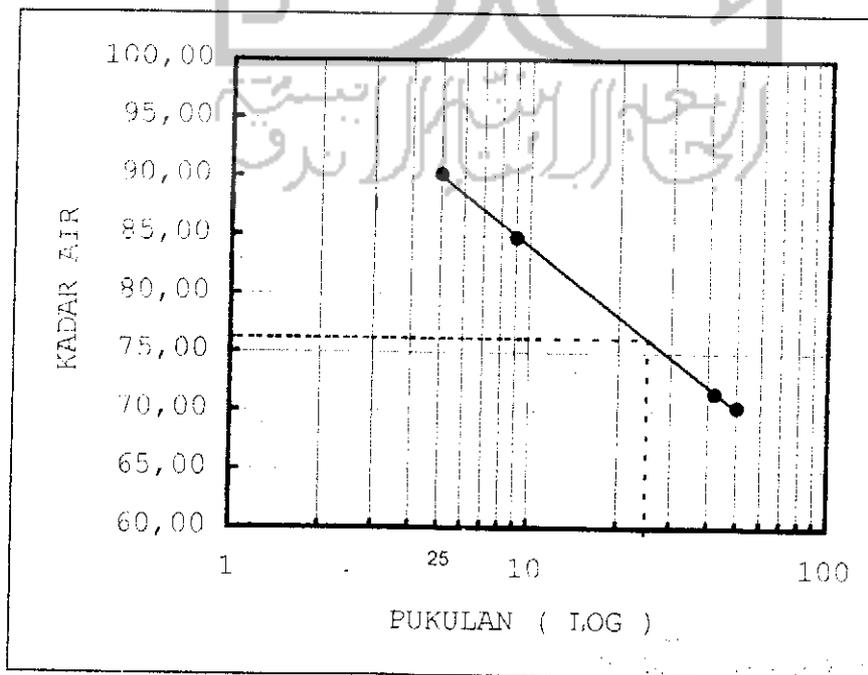
Tanggal 27 Des 03
 Dikerjakan Andi Fauzan
 Sample 1

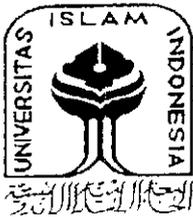
NO	NO. PENGUJIAN	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	NO CAWAN								
2	Berat cawan kosong	22,06	22,14	21,86	21,80	21,84	22,30	22,35	21,59
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	43,15	42,12	39,90	37,94	50,12	51,15	46,94	47,20
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	32,96	32,83	31,66	30,50	38,37	39,07	36,80	36,60
5	Berat air (3) - (4)	10,19	9,29	8,24	7,44	11,75	12,08	10,14	10,60
6	Berat tanah kering (4) - (2)	10,90	10,69	9,80	8,70	16,53	16,77	14,45	15,01
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100\%$	93,49	86,90	84,08	85,52	71,08	72,03	70,17	70,62
8	KADAR AIR RATA-RATA =		90,19		84,80		71,56		70,40
9	PUKULAN		5		9		42		50

PENGUJIAN BATAS PLASTIS

NO		1	2
1	NO CAWAN		
2	BERAT CAWAN KOSONG	22,50	21,70
3	BERAT CAWAN + TANAH BASAH	57,86	51,40
4	BERAT CAWAN + TANAH KERING	46,15	41,77
5	BERAT AIR (3)-(4)	11,71	9,63
6	BERAT TANAH KERING (4)-(2)	23,65	20,07
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100\%$	49,51	47,98
8	KADAR AIR RATA-RATA =	48,75	

KESIMPULAN	
FLOW INDEX	8,655
BATAS CAIR	76,18
BATAS PLASTIS	48,75
INDEX PLASTISITAS	27,43



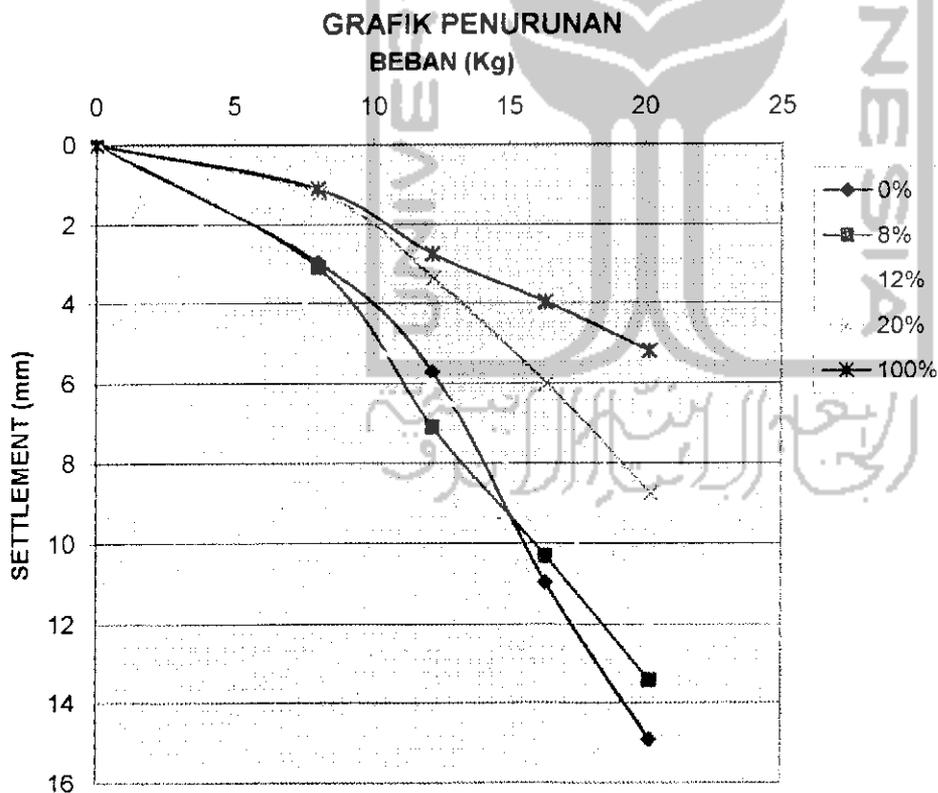


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Proyek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm
 Waktu Peram : 0 jam

Tanggal : Januari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran				
	0%	8%	12%	20%	100%
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.989	2.960	3.100	4.225	1.205	1.110
12.157	5.720	7.100	6.060	3.365	2.750
16.332	10.960	10.310	9.108	6.000	3.955
20.157	14.910	13.410	12.029	8.760	5.195



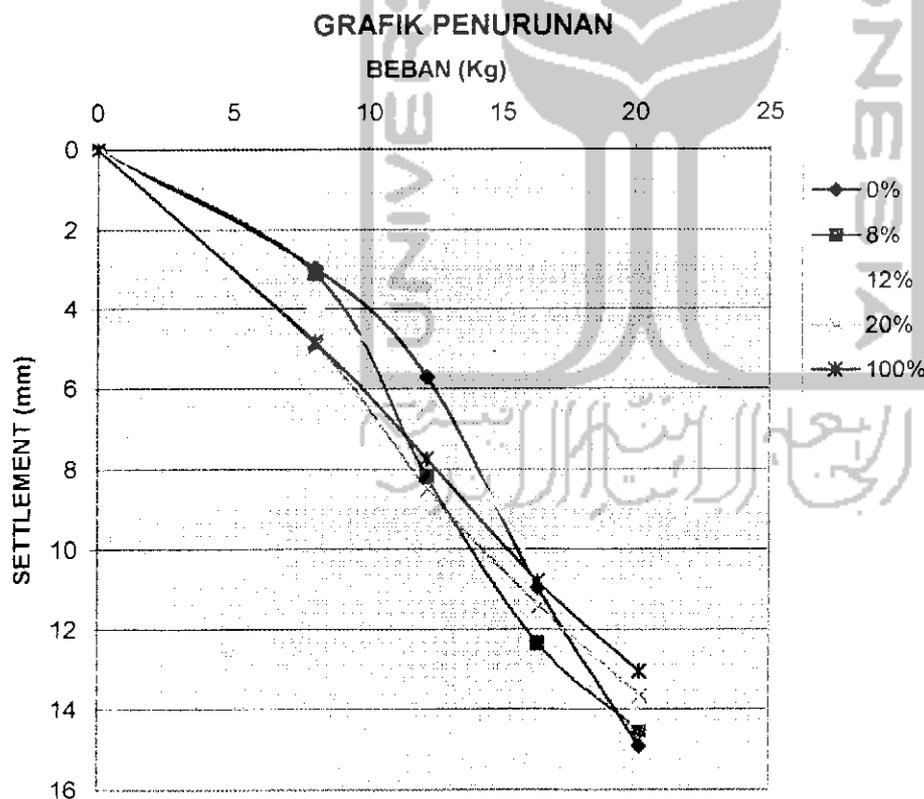


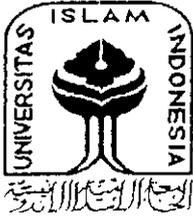
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Proyek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 20 Cm
 Waktu Peram : 0 jam

Tanggal : Januari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran				
	0%	8%	12%	20%	100%
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.989	2.960	3.100	3.850	4.920	4.830
12.157	5.720	8.197	6.350	8.500	7.750
16.332	10.960	12.350	10.545	11.410	10.800
20.157	14.910	14.520	14.185	13.650	13.050



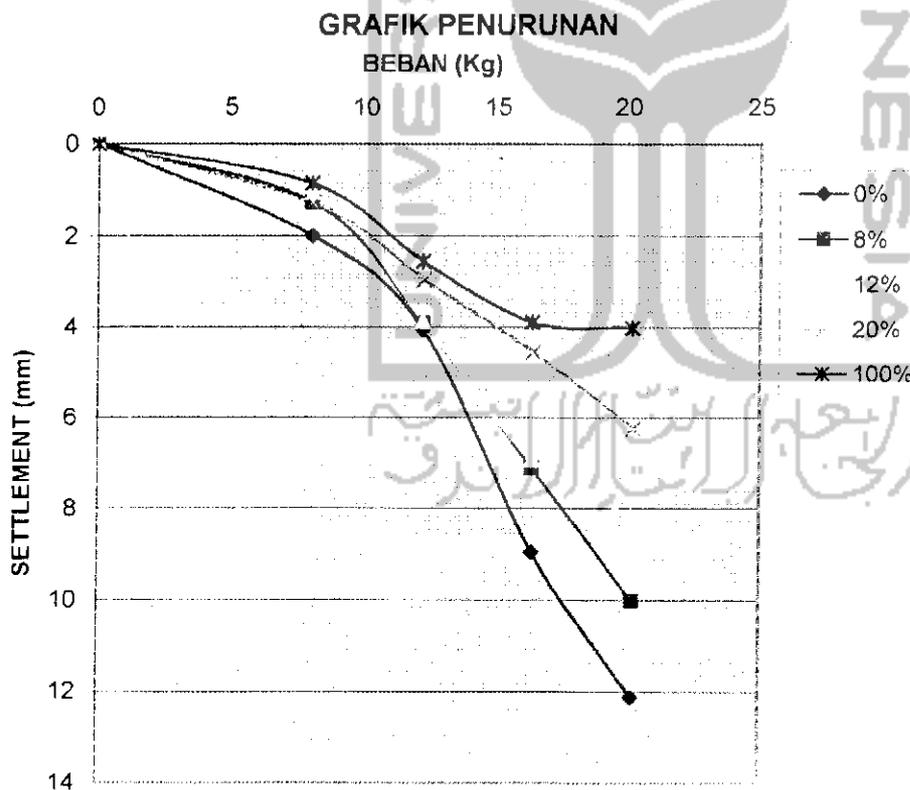


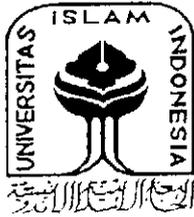
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Proyek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm
 Waktu Peram : 48 jam

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran				
	0%	8%	12%	20%	100%
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.989	1.980	1.260	1.050	1.273	0.840
12.157	4.050	3.900	3.855	2.940	2.550
16.332	8.950	7.110	6.925	4.530	3.880
20.157	12.120	10.010	8.165	6.230	4.015



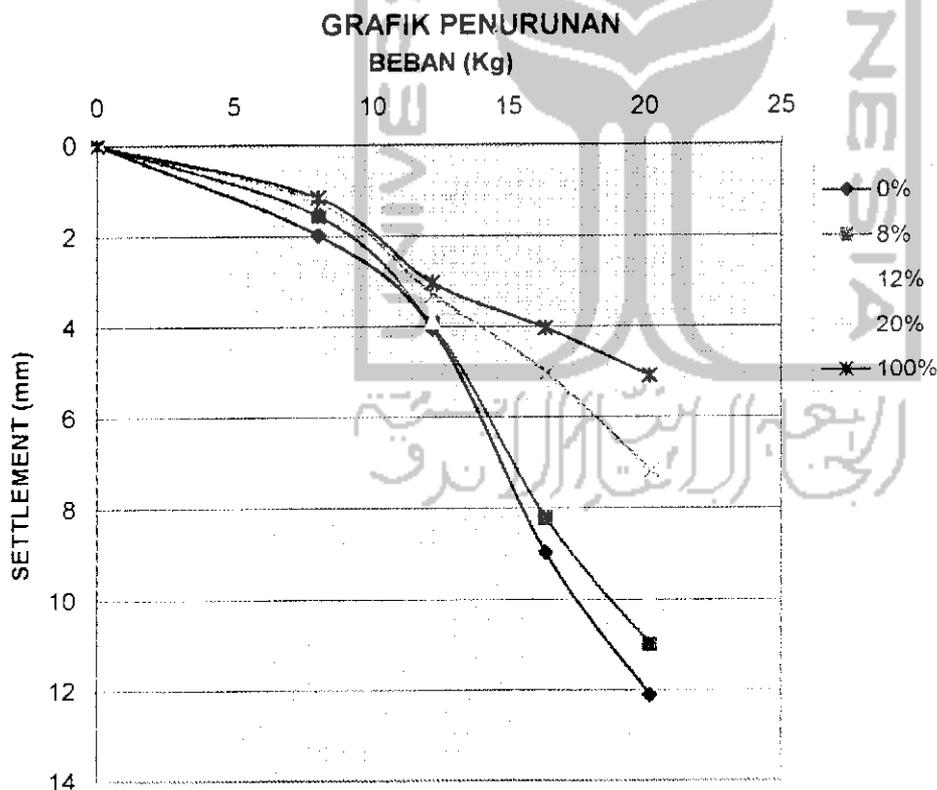


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Proyek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 20 Cm
 Waktu Peram : 48 jam

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran				
	0%	8%	12%	20%	100%
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.989	1.980	1.550	1.180	1.280	1.150
12.157	4.050	3.950	3.890	3.290	3.030
16.332	8.950	8.200	7.130	5.040	4.040
20.157	12.120	10.990	9.960	7.170	5.095





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

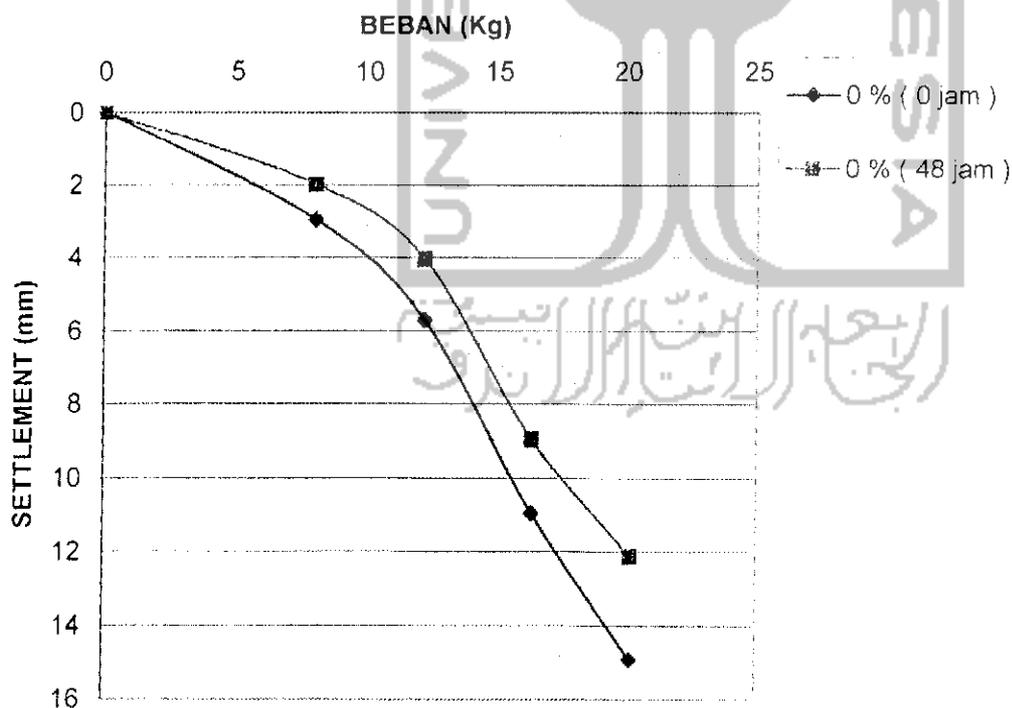
Projek : Tugas Akhir

Tanggal : Februari 2004

Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	0 % (0 jam)	0 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	2.960	1.980
12.157	5.720	4.050
16.332	10.960	8.950
20.157	14.910	12.120

GRAFIK PENURUNAN





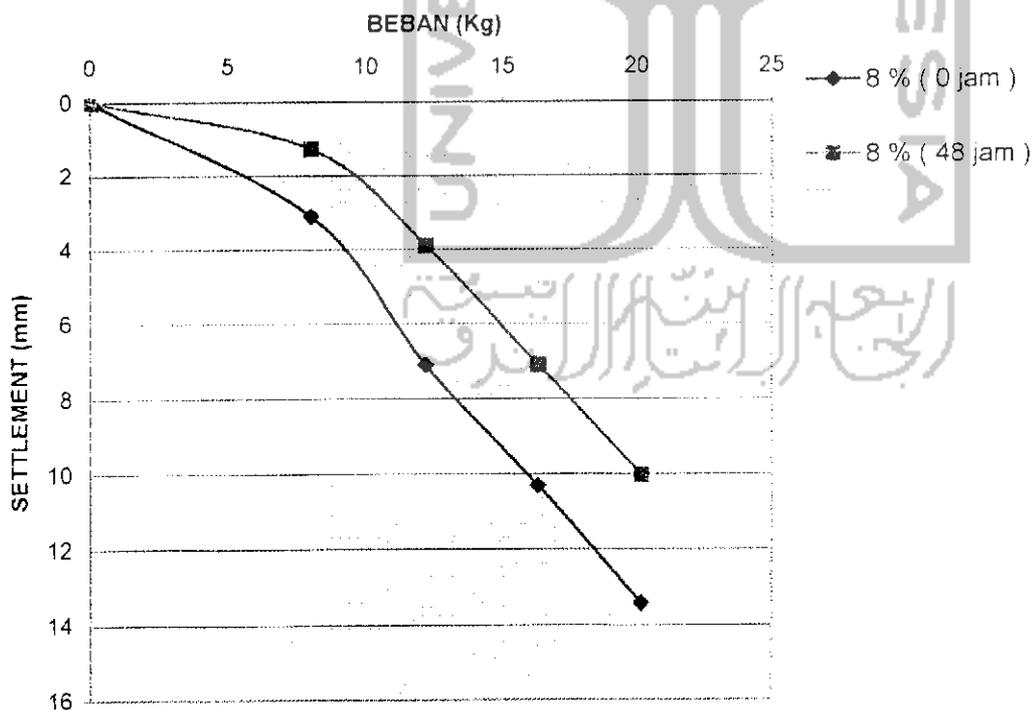
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	8 % (0 jam)	8 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	3.100	1.260
12.157	7.100	3.900
16.332	10.310	7.110
20.157	13.410	10.010

GRAFIK PENURUNAN





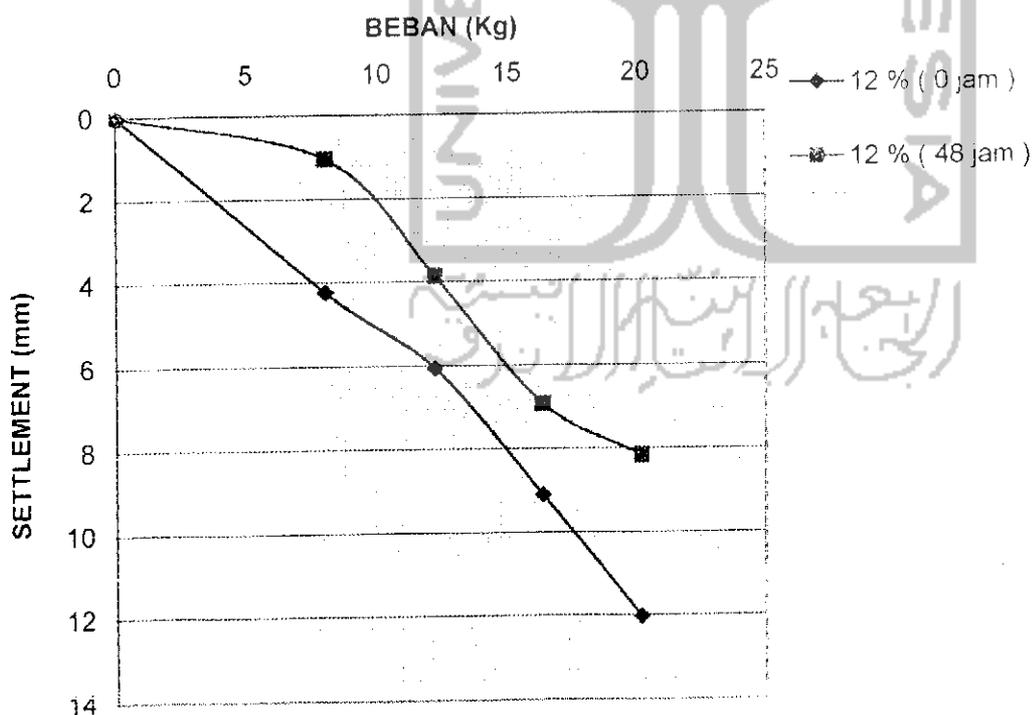
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	12 % (0 jam)	12 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	4.225	1.050
12.157	6.060	3.855
16.332	9.108	6.925
20.157	12.029	9.165

GRAFIK PENURUNAN





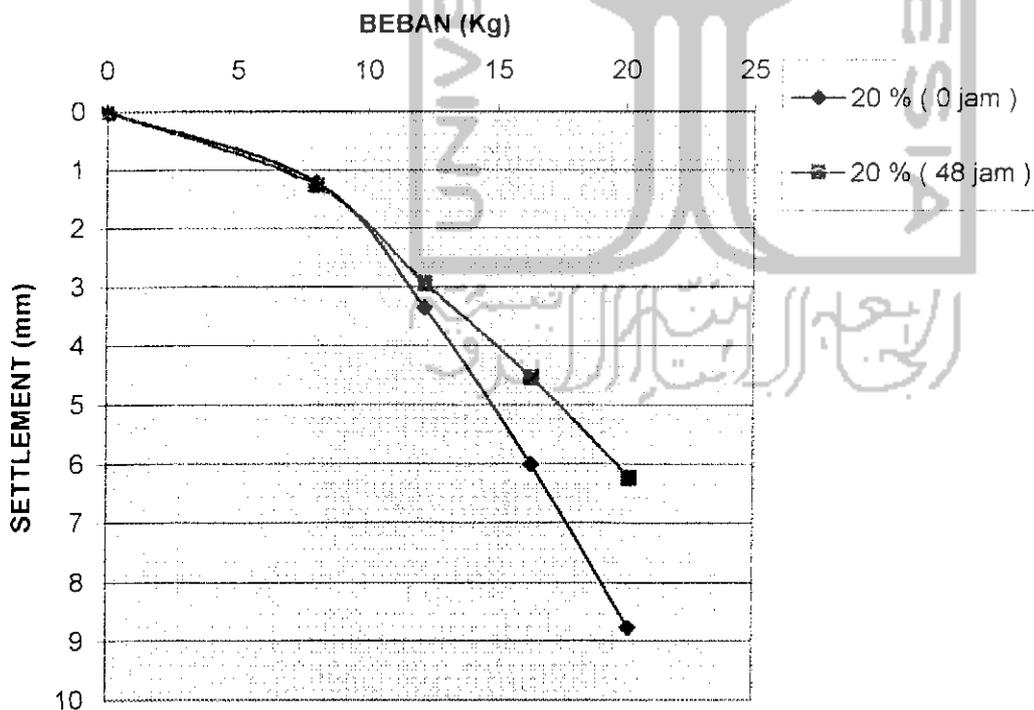
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	20 % (0 jam)	20 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	1.205	1.273
12.157	3.365	2.940
16.332	6.000	4.530
20.157	8.760	6.230

GRAFIK PENURUNAN





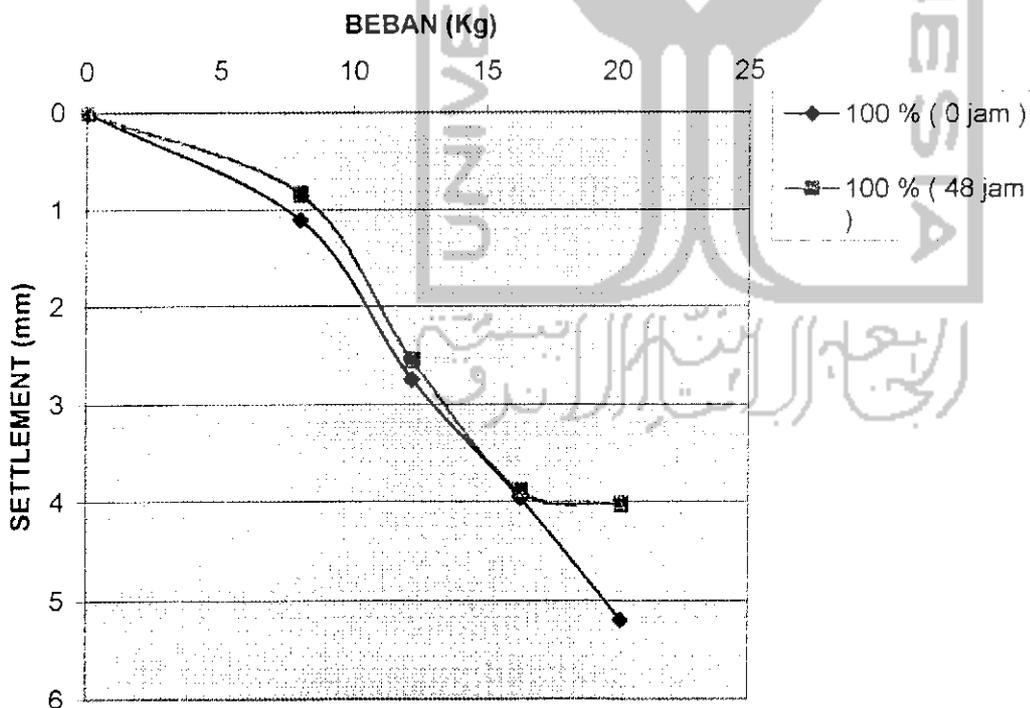
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 30 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	100 % (0 jam)	100 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	1.110	0.840
12.157	2.750	2.550
16.332	3.955	3.880
20.157	5.195	4.015

GRAFIK PENURUNAN





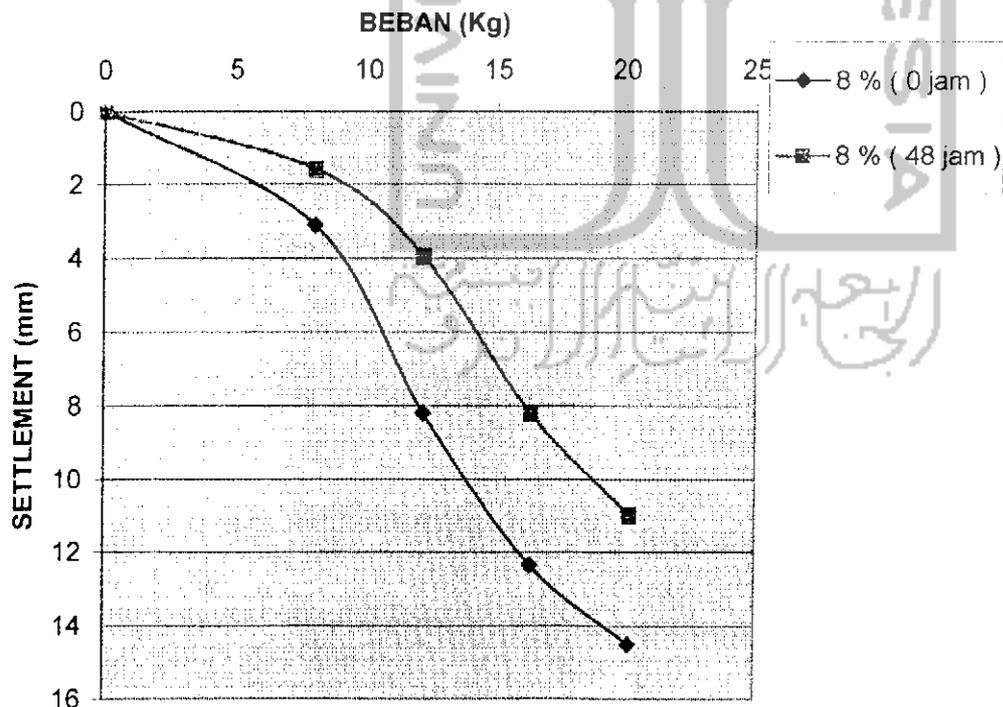
**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

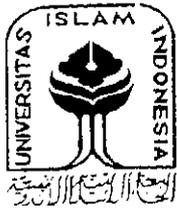
Projek : Tugas Akhir
Konfigurasi : Segi Empat
Tinggi Kolom : 20 Cm

Tanggal : Februari 2004
Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	8 % (0 jam)	8 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	3.100	1.550
12.157	8.197	3.950
16.332	12.350	8.200
20.157	14.520	10.990

GRAFIK PENURUNAN





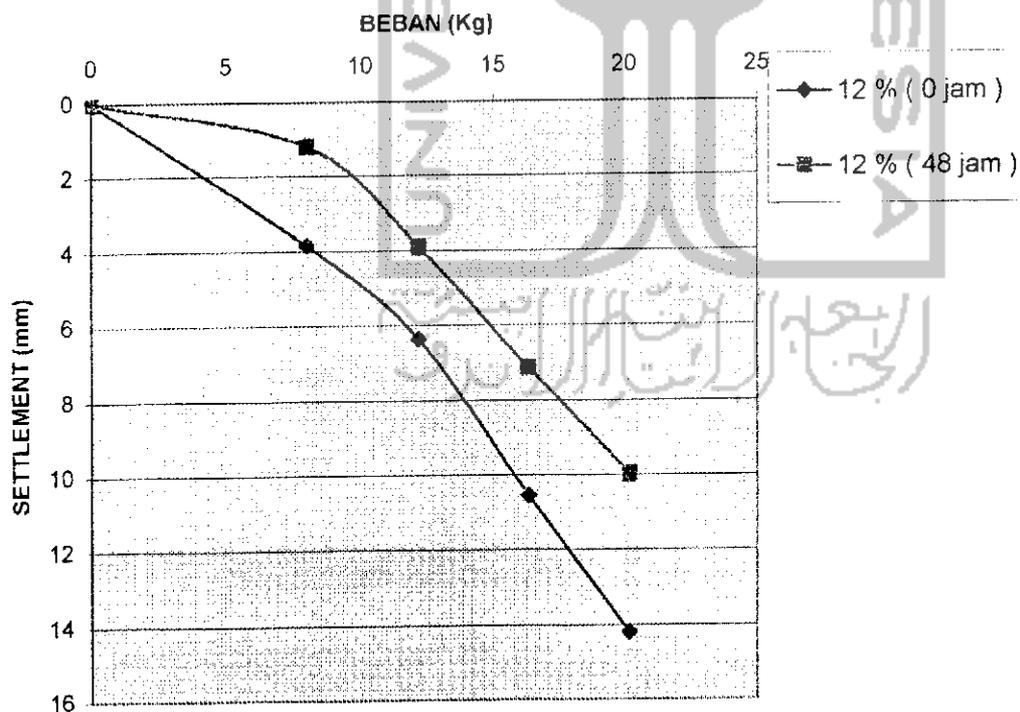
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

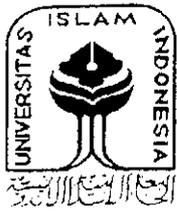
Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 20 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	12 % (0 jam)	12 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	3.850	1.180
12.157	6.350	3.890
16.332	10.545	7.130
20.157	14.185	9.960

GRAFIK PENURUNAN





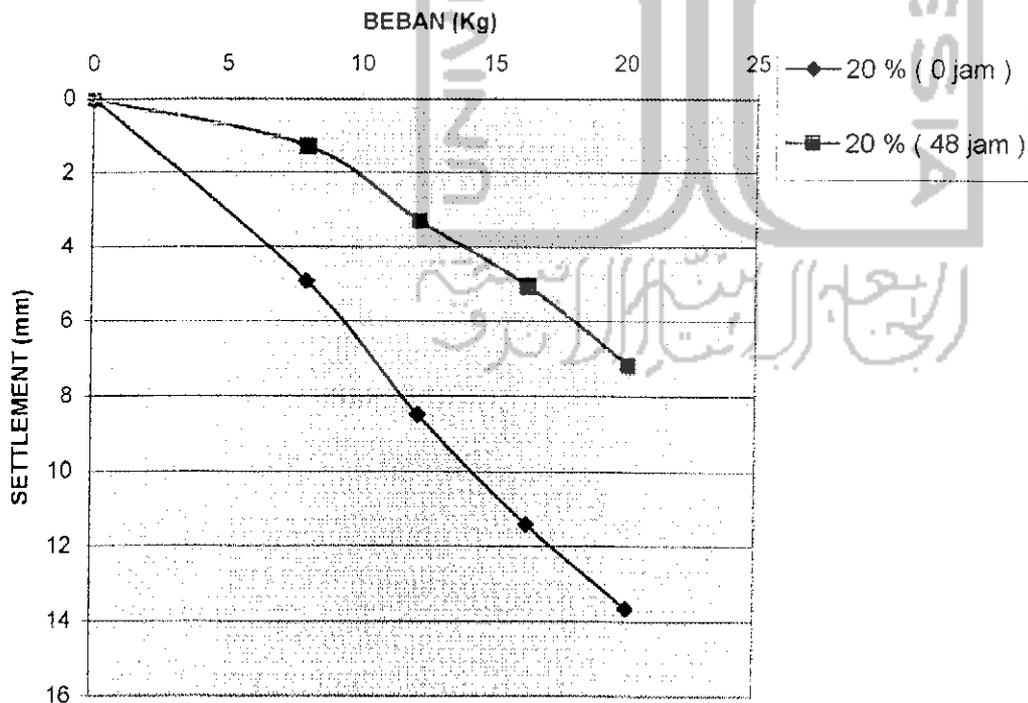
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 20 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	20 % (0 jam)	20 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	4.920	1.280
12.157	8.500	3.290
16.332	11.410	5.040
20.157	13.650	7.170

GRAFIK PENURUNAN



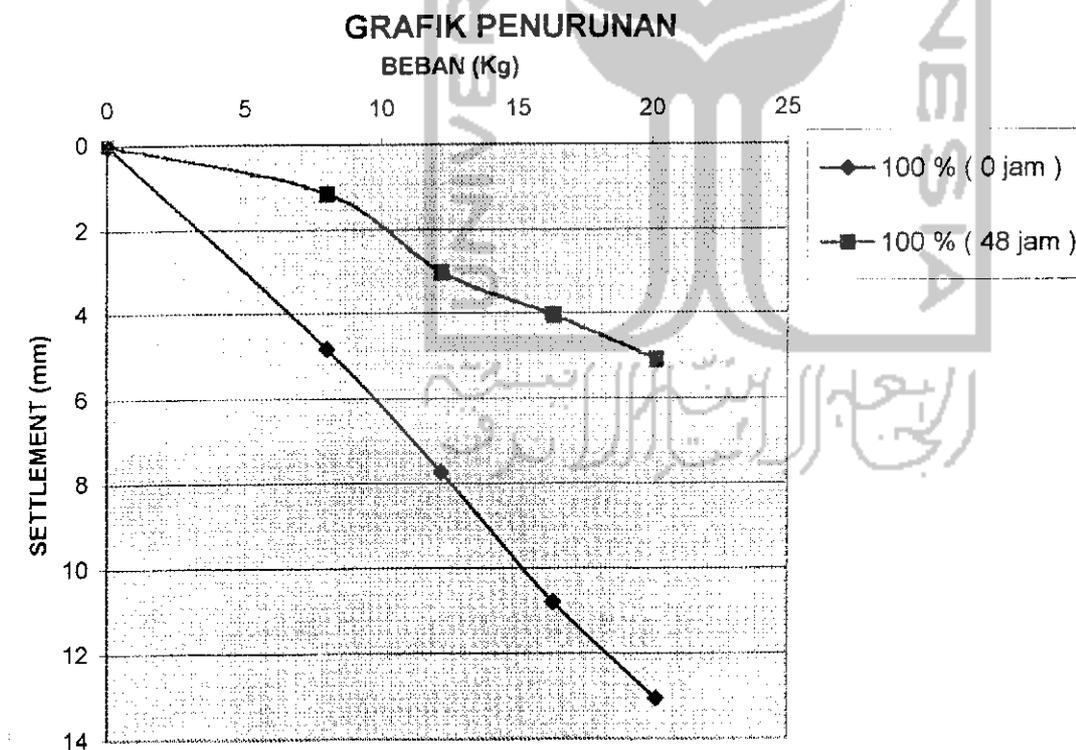


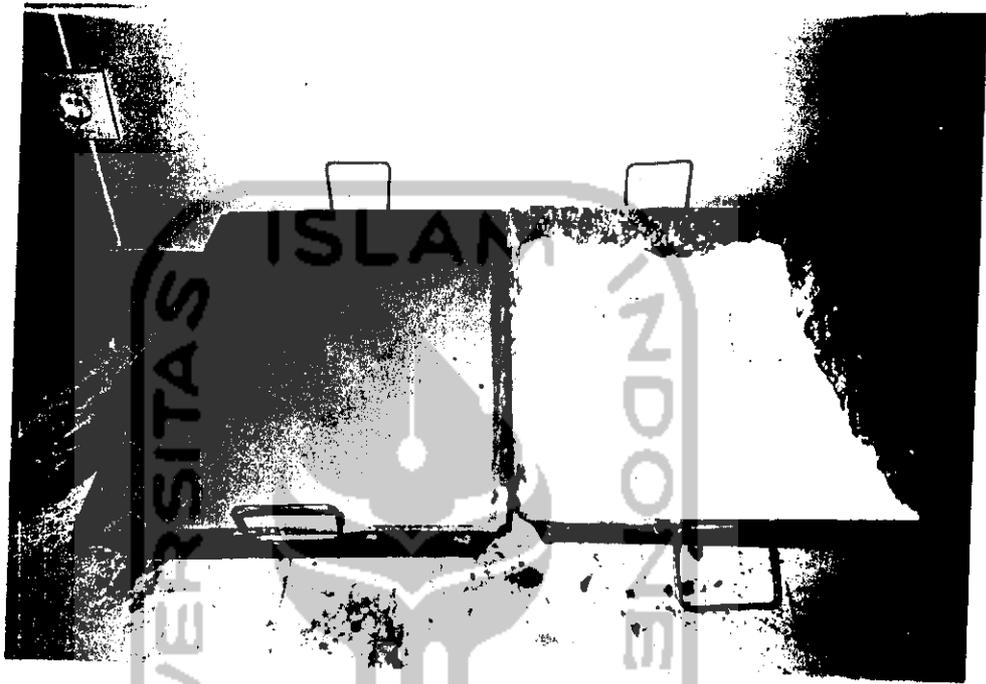
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

Projek : Tugas Akhir
 Konfigurasi : Segi Empat
 Tinggi Kolom : 20 Cm

Tanggal : Februari 2004
 Dikerjakan : Andi + Fauzan

Beban (Kg)	Campuran	
	100 % (0 jam)	100 % (48 jam)
0.000	0.000	0.000
7.989	4.830	1.150
12.157	7.750	3.030
16.332	10.800	4.040
20.157	13.050	5.095



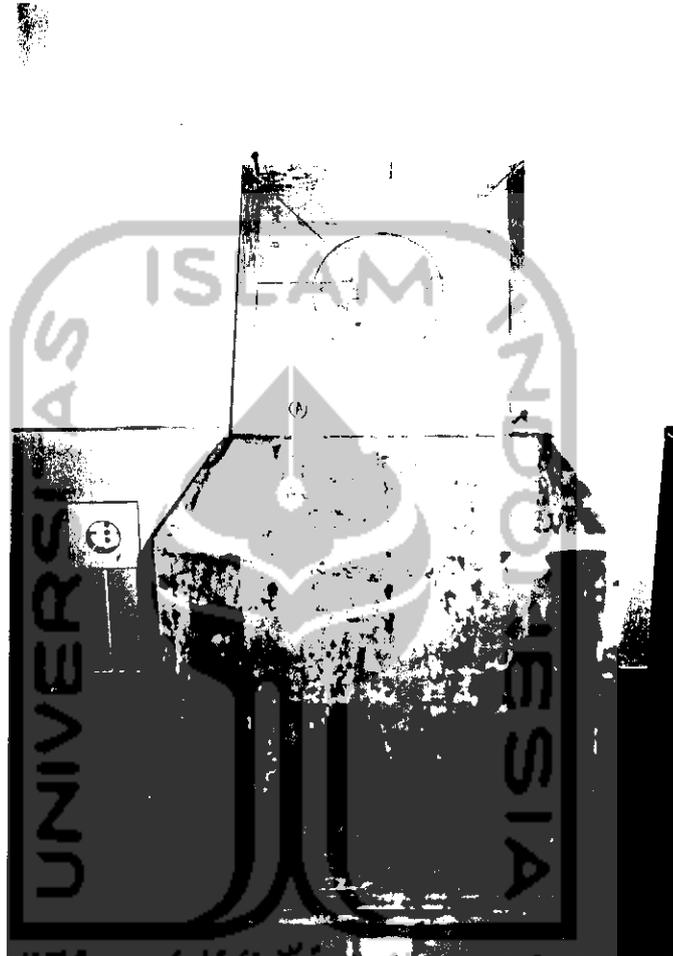


Bahan

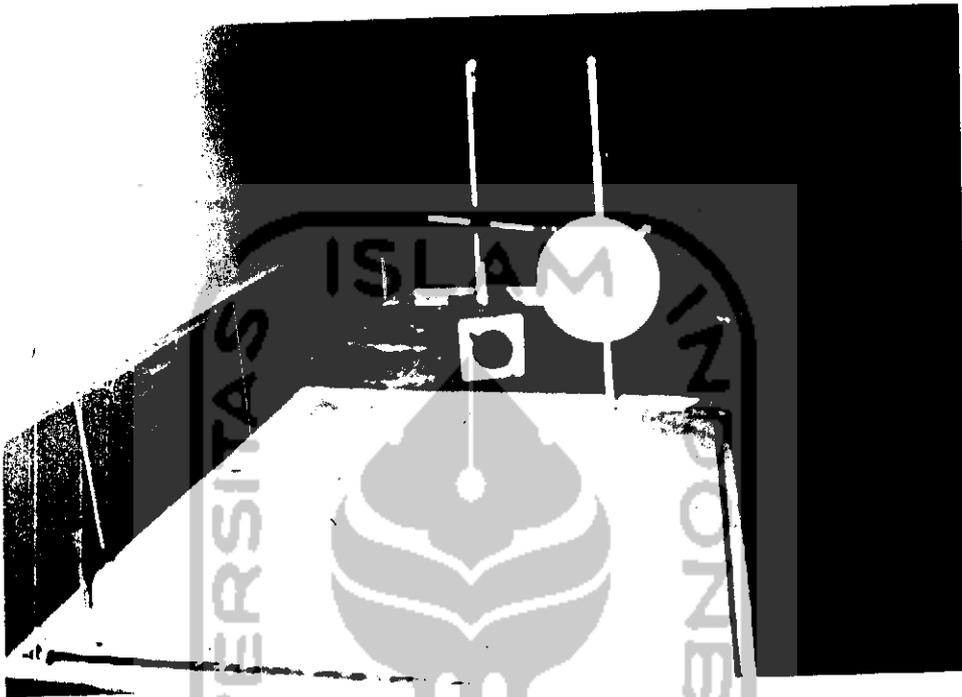
الجامعة الإسلامية الاندونيسية



UNIVERSITAS
INDONESIA
Bahan
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية



جامعة الإسلام
Benda uji



Dial

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

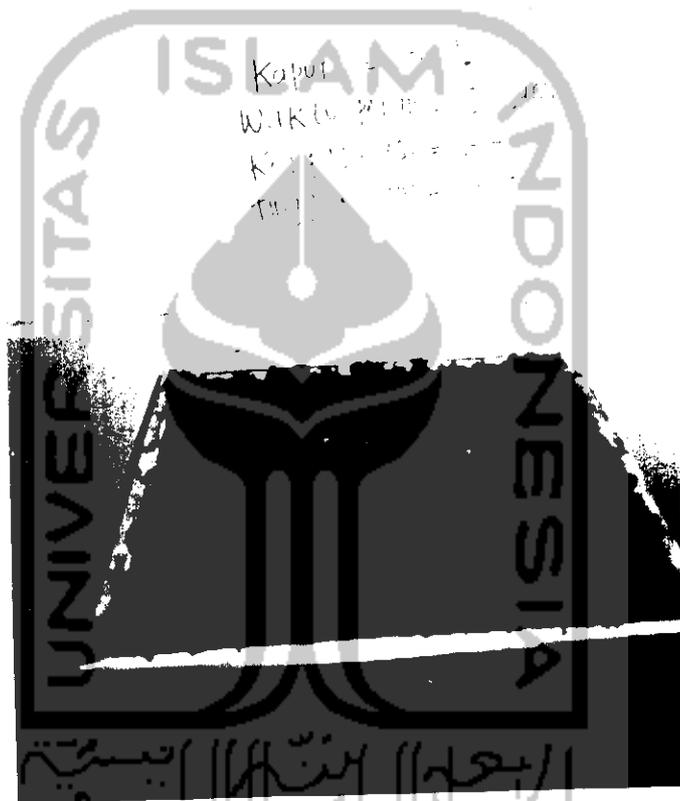


Pembuatan Sampel

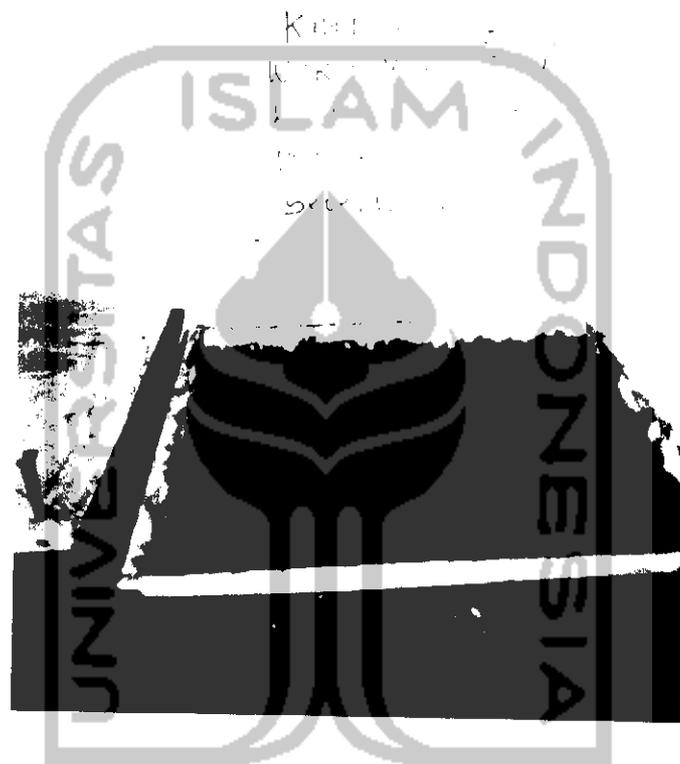


Pembebanan

الجامعة الإسلامية
الابن سينا الأندلسية



Benda uji dengan kadar kapur 0 %, waktu peram 0 jam (sebelum diuji)



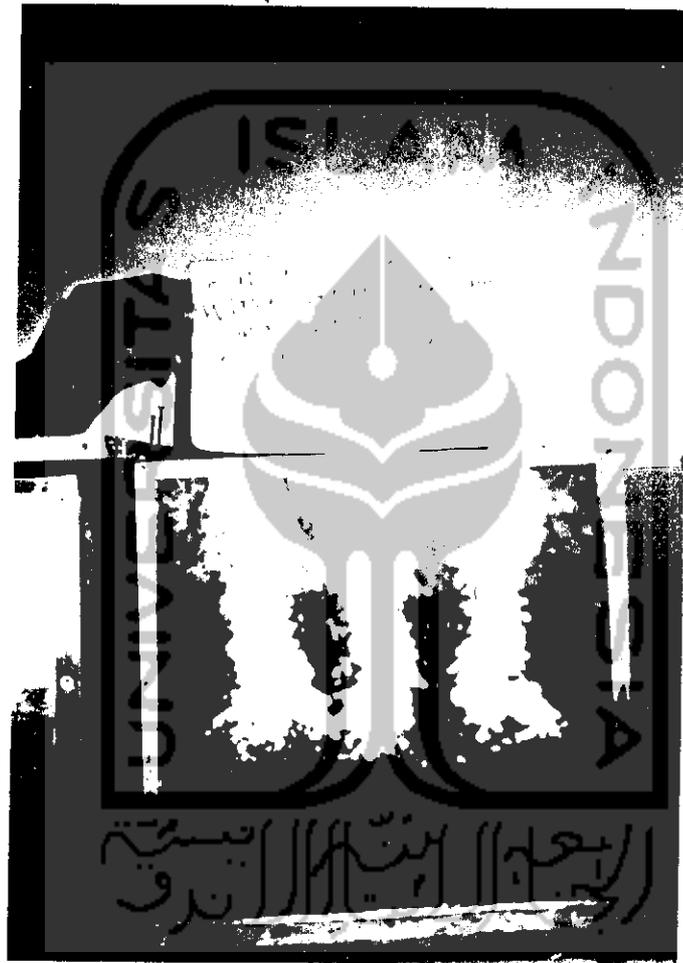
Benda uji dengan kadar kapur 0 %, waktu peram 0 jam (setelah diuji)



Kadar kapur 100 %, waktu peram 0 jam, kolom 20 cm (sebelum diuji)



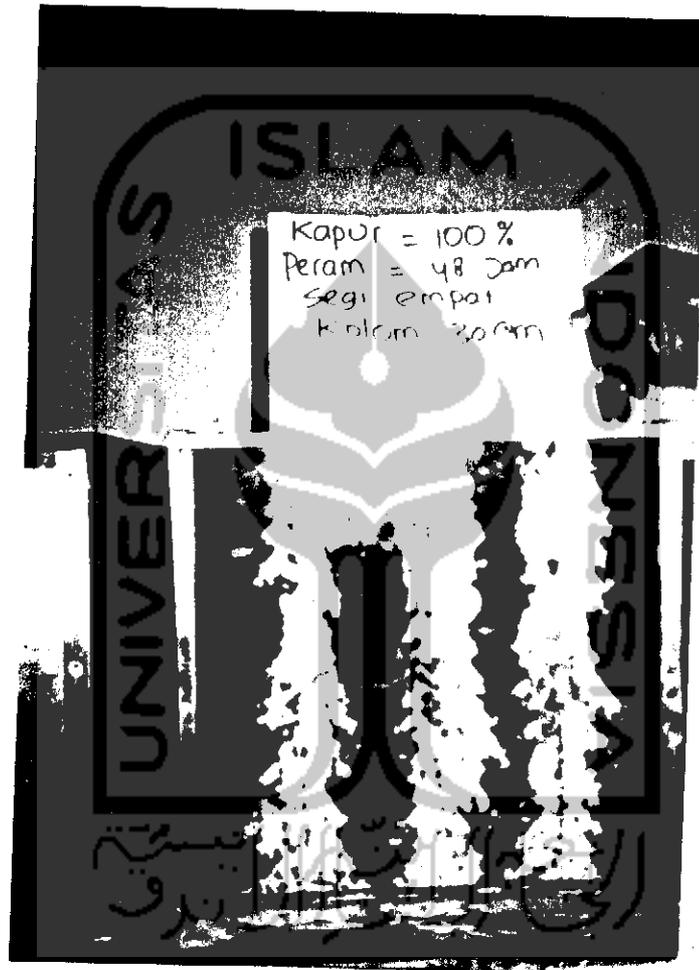
Kadar kapur 100 %, waktu peram 0 jam, kolom 20 cm (setelah diuji)



Kadar kapur 100 %, waktu peram 48 jam, kolom 20 cm (sebelum diuji)



Kadar kapur 100 %, waktu peram 48 jam, kolom 20 cm (setelah diuji)



Kadar kapur 100 %, waktu peram 48 jam, kolom 30 cm (sebelum diuji)